



# Conception et exploitation d'une sonde électronique d'auscultation des réseaux d'assainissement urbains non visitables

Mourad Bedrani

## ► To cite this version:

Mourad Bedrani. Conception et exploitation d'une sonde électronique d'auscultation des réseaux d'assainissement urbains non visitables. Hydrologie. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1983. Français. NNT: . tel-00520782

**HAL Id: tel-00520782**

**<https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00520782>**

Submitted on 24 Sep 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE

NS 11648(2)

NS 11648(2)

présentée pour l'obtention du Diplôme  
de

DOCTEUR - INGENIEUR

EN SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'ENVIRONNEMENT

---

L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES

*par*

M o u r a d B E D R A N I

*SUJET DE THESE :*

CONCEPTION ET EXPLOITATION D'UNE SONDE  
ELECTRONIQUE D'AUSCULTATION DES RESEAUX  
D'ASSAINISSEMENT URBAINS NON VISITABLES

*soutenue LE* 9 décembre 1983

*DEVANT LE JURY COMPOSE DE :*

MM. F. VALIRON	Président
J. LAMOURE	Examineur
G. DUPUY	Examineur
J. CHESNEAU	Examineur

28





*Cette thèse a été préparée sous  
l'égide de  
l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées  
grâce à une bourse de recherche  
attribuée par l'Ecole.*



A ma femme

A notre fils



## REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au CERGREN à Paris et dirigé par M. J. LAMOURE que je tiens à remercier pour la qualité de ses conseils, son aide de tous les instants et ses encouragements.

Ma gratitude va à M. Le Professeur VALIRON qui a bien voulu présider le Jury ainsi qu'à MM. CHESNEAU et DUPUY qui ont accepté d'en faire partie et à M. REINBOLD (†) qui a organisé et dirigé les campagnes d'essais sur le terrain et qui, par suite de circonstances dramatiques, n'a pu assurer le rapport de cette thèse.

Je remercie vivement MM. BURGERT et RUDELLE de CR2M pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans le couplage des électroniques de mesure et plus particulièrement pour l'originalité de la conception de l'électronique de mesure.

Je remercie M. FAVART, Président de CENELT, qui a mis à ma disposition les moyens matériels pour la réalisation de la chaîne de mesure et l'intégration de la mesure de conductivité dans le bulbe. Je suis reconnaissant envers l'ensemble du personnel de CENELT pour leur aide et l'excellence de leur accueil.

Je suis très reconnaissant envers l'ensemble du personnel du CERGREN pour les aides permanentes et l'excellence de leur accueil. Je remercie plus particulièrement Mademoiselle CLAMAGIRAND pour son aide précieuse dans l'utilisation du VAX de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.





*Je remercie l'ensemble du personnel de la SLEE pour l'organisation et le pilotage des campagnes d'essais sur le terrain.*

*Je remercie Mademoiselle CACCIATORE et Madame RODE pour le soin qu'elles ont apporté à la réalisation pratique de cette thèse.*

*Je remercie enfin tous ceux qui ont su m'aider à surmonter les découragements passagers qu'induit le travail de chercheur.*



## R E S U M E

Partant de l'hypothèse que, d'une part, aucun rejet ne peut se trouver à une température rigoureusement identique à celle des eaux drainées dans le réseau, et que, d'autre part, la température de la nappe phréatique est systématiquement plus basse que celle de différents rejets domestiques ou industriels, nous avons conçu une sonde autonome à double paramètre : température et conductivité, baptisée Ichthyotherme, pour l'auscultation des réseaux.

L'appareil développé est couplé à un microordinateur qui sert à la commande de la mesure, au traitement et à la sauvegarde des données et enfin, à la gestion de la distance ; la corrélation "paramètre-distance" est établie en fonction du temps (cadence de la mesure).

Le système développé est défini par une liaison "On-Line" (distance en temps réel) permettant le traitement des données en "Batch-processing".

Différents types de réponse des entrées d'eaux parasites ont été obtenus lors des essais d'auscultations de réseaux effectués en région parisienne. La stabilité de la mesure de la température obtenue dans des réseaux ne recevant pas d'eaux parasites présente un grand intérêt : toute entrée d'eau parasite ou rejet se traduit donc par une variation de la température.



Une approche mathématique des rejets thermiques dans un écoulement turbulent est abordée et les simulations effectuées à l'aide d'un modèle de diffusion Gaussien correspondent aux résultats obtenus sur le terrain. Deux notions ressortent des résultats obtenus : la notion d'infiltration et la notion de drainage. Ce modèle en outre, détermine les limites théoriques de détection des eaux parasites à l'aide du paramètre "température".

L'interprétation des résultats d'auscultation pré-suppose une connaissance du site de mesure relative aux industries raccordées, au niveau de la nappe phréatique sous-jacente, à l'alimentation en eau potable, etc. Ces connaissances deviennent indispensables dès qu'il s'agit de surveiller la qualité des rejets à l'aide du paramètre conductivité. Une approche systémique des eaux parasites est abordée dans cette thèse et quelques données de base sont établies pour rendre aisé un dressage de diagnostics juste et précis.

Les trois approches développées dans cette thèse, l'approche analytique, l'approche mathématique et l'approche systémique, permettent d'apprécier les limites de détection des eaux parasites et facilitent l'interprétation des résultats à partir du matériel étudié.



## MOTS-CLES

Acquisition, analyse, auscultation, automatisme, autonomie, bit, capteur, cellule, chronogramme, commande, détection, diagnostic, diffusion, eau parasite, infiltration, interface, interruption, logique, microordinateur, microprocesseur, modèle, programme, processus, rejet, réseau, simulation, station d'épuration, sonde, système, tâche, température, transport.





# TABLE DES MATIERES

pages

REMERCIEMENTS

RESUME

MOTS CLES

ABREVIATIONS

NOTATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION

1

PREAMBULE

5

PREMIERE PARTIE : les mesures effectuées par  
l'ICHTYOTHERME

AVANT-PROPOS

10

I - La mesure de la température

12

I.1. Choix et présentation du capteur de température

12

I.2. Caractéristiques du capteur

12

I.3. Montage du capteur

13

II - La mesure de la conductivité

14

II.1. Définition de la mesure

14

II.2. Choix de la cellule de conductivité

15

II.3. Caractéristique du capteur : la constante de  
cellule

16

II.4. Description du capteur

16

II.5. Montage du capteur

17

II.6. Principe de mesure

17

II.6.1. Description du conductimètre

19

II.6.1.1. Etalonnage de la mesure

19

II.6.1.2. Variables influençant la mesure

20

III - Sauvegarde des données

20

IV - Les circuits de mesures	21
IV.1. Electronique de mesure	21
IV.1.1. Alimentation	22
IV.1.2. Convertisseur Analogique Numérique (CAN)	22
IV.1.3. Stockage des mesures	23
IV.1.4. Logique de commande et de lecture	23
IV.1.5. Sorties vers l'interface	24
IV.2. Couplage des deux électroniques de mesures	24
IV.3. Mesure de la distance	25
IV.3.1. Principe de mesure de la distance	25
IV.3.2. Montage du générateur d'impulsions	26
V - Présentation de l'Ichtyotherme	26
V.1. Le bulbe de protection de l'électronique	26
V.2. Le montage des capteurs	27
V.3. Le relais bistable	28
V.4. Utilisations connexes	28
V.5. Améliorations de la mesure	29
VI - Conclusion	30

## DEUXIEME PARTIE : Présentation de la chaîne de mesure et principe de fonctionnement

HISTORIQUE	32
AVANT-PROPOS	34
I - Présentation de la chaîne de mesure et principes d'utilisation	35
I.1. La chaîne de mesure	35
I.2. Principe de fonctionnement	35
I.2.1. Lancement de la mesure	36
I.2.2. Mesure de la distance	36
I.2.3. Lecture des mesures	36
I.2.4. Sauvegarde et traitement des mesures	37
II - Commandes de lancement et d'acquisition de la mesure	37
II.1. Présentation du matériel informatique	37
II.1.1. Description de l'interface G.P.I.O.	38

II.1.2. Possibilités de gestion offertes par l'interface G.P.I.O.	38
II.1.3. L'horloge interne	39
II.2. Le traitement des données	39
II.2.1. La structure des différents programmes	40
II.2.2. Principales interruptions utilisées	41
III - Définition du système de traitement	42
VI - Conclusion	43

TROISIEME PARTIE : Modélisation des rejets d'eau chaude  
dans un écoulement froid et interprétation  
des mesures in-situ

AVANT-PROPOS	45
I - Formulation générale d'un problème de rejet dans un écoulement froid	46
II - Hypothèses simplificatrices	47
III - Développement du modèle adapté	49
III.1. Choix des paramètres du modèle	50
III.2. Résultats des simulations	52
III.2.1. Répartition des températures	52
III.2.2. Les limites de détection des rejets	53
IV - Interprétations des mesures in-situ	54
IV.1. Comptage de branchements de "particuliers"	54
IV.2. Détection des eaux parasites	55
IV.2.1. Bilan de fonctionnement du réseau : inspection à poste fixe	55
IV.2.1.1. Hypothèses et définition	55
IV.2.1.2. Résultats des inspections	56
IV.2.1.3. Analyses des résultats	56
IV.2.2. Recherche des eaux parasites	57
V - Conclusion	59

QUATRIEME PARTIE : Auscultation des réseaux : approche systémique des eaux parasites

AVANT-PROPOS	61
I - Définition du système et choix des caractéristiques	62
II - Les ouvrages	63
III - Les eaux collectées - Leurs caractéristiques	64
III.1. La température	65
III.2. La conductivité	66
IV - La géotechnique et la topographie	67
V - L'hydrologie et l'hydrogéologie	68
V.1. La nappe phréatique	68
V.1.1. La température	68
V.1.2. La conductivité	69
V.2. Les rivières	69
VI - Les industries	69
VII - Classification des eaux parasites	70
VII.1. Caractéristiques des variations des débits	70
VII.2. Définition des mots infiltrations et captages	70
VII.3. Temps de réponse	71
VIII - Conclusion	71
CONCLUSION GENERALE	73
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	76
ANNEXES	

## ABREVIATIONS

### 1. Institutions

A.F.B.S.N.	Agence Financière de Bassin Seine-Normandie
A.Q.T.E.	Association Québécoise des Techniques de l'Eau
C.E.M.A.G.R.E.F.	Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
C.E.N.E.L.T.	Compagnie d'Engineering Electronique
C.E.R.G.R.E.N.E.	Centre d'Enseignement et de Recherche pour la Gestion des Ressources Naturelles et de l'Environnement
C.R.2.M.	Conseil et Réalisation en Mesure et Micro- informatique
E.N.I.T.R.T.S.	Ecole Nationale des Ingénieurs des Travaux Ruraux et des Techniques Sanitaires
E.N.S.P.	Ecole Nationale de la Santé Publique
E.P.F.L.	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
I.R.C.H.A.	Institut de Recherche Chimique Appliquée
L.A.M.S.A.D.E.	Laboratoire de Management Scientifique et Aide à la Décision
L.H.M.	Laboratoire d'Hydrologie Mathématique
M.I.T.	Massachusetts Institute of Technology
S.H.F.	Société Hydrotechnique de France
S.L.E.E.	Société Lyonnaise des Eaux et de l'Eclairage
T.S.M.	Techniques et Sciences Municipales

## 2. Techniques

CAN	Convertisseur Analogique/Numérique
C.MOS	MOS (métal-oxyde-semiconductor) complémentaire
CO	Chargeur Onduleur
C.T	Compte Tours
EP	Eau Parasite
GRAFCEt	Graphe de Commande Etape-Transition
GI	Générateur d'Impulsions
GPIO	Général Purpose Input and Output
H.P.	Hewlett Packard
LED	Diode Electroluminescente
STEP	Station d'Epuration des Eaux Usées
RAM	Random Access Memory
TTL	Transistor transistor logic

## NOTATIONS

A,S	aire	$L^2$
C	salinité	$ML^{-3}$
Cp	chaleur spécifique à pression constante	$L^2T^{-2} \text{ Kelvin}^{-1}$
D	coefficient de diffusion ou diffusivité thermique	$L^2T^{-1}$
DT ou $T_m$	différence de température après mélange	celsius
DTI ou $T_r$	différence de température au rejet	celsius
g	accélération	$LT^{-2}$
h	profondeur lame d'eau en mouvement	L
m	masse	M
$\lambda$	coefficient de biodégradation	$T^{-1}$
$\rho$	masse volumique	$ML^{-3}$
$\beta$	coefficient d'expansion thermique	$\text{celsius}^{-1}$



$\epsilon$	coefficient de diffusion moléculaire	$L^2 T^{-1}$
$p^* = p + \rho g x_i \delta_{iz}$	pression	$ML^{-1} T^{-2}$
$r$	rayon d'une section circulaire	$L$
$t$	temps	$T$
$T$	température	celsius
$V$	vitesse locale instantanée dans le canal	$LT^{-1}$
$\bar{V}$	vitesse moyenne locale	$LT^{-1}$
$\vec{U}$	vecteur vitesse de composantes $U_i$	$LT^{-1}$
$\mu$	viscosité dynamique	$ML^{-1} T^{-1}$
$x, y, z$	coordonnées dans un système d'axes cartésiens orthonormés	$L$
$q$ ou $QI$	débit d'infiltration	$L^3 T^{-1}$
$\nu$	viscosité cinématique	$L^2 T^{-1}$
$\delta_{iz}$	symbole de KRONECKER (égal à 1 si $i=3$ et à zéro autrement)	

## notations particulières

$$\exp(x) = e^x$$

$$\Delta = \text{Laplacien}$$

Les grandeurs surlignées d'une barre correspondent à des grandeurs moyennées dans le temps, celles munies d'un point correspondent à des débits.

## LISTE DES FIGURES

	pages
Figure 1 Principe de mesure de la conductivité à 4 électrodes	18
Figure 2 Disposition des électrodes dans la cellule de mesure	18
Figure 3 Réduction du problème de 3 dimensions à 2 dimensions	48
Figure 4 Données du modèle de diffusion	48
Figure 5 Evolution des isothermes	48
Figure 6 Approche systémique des eaux parasites	62
Figure 7 Modèle du flux du système d'assainissement	63
Figure 8 Température, pluies, débits à l'entrée d'une STEP.	65

## LISTE DES ANNEXES

Annexe I	Le "mouchard" des égouts - "Le Monde" 12.10.83
ANNEXE I bis	Caractéristiques techniques de l'Ichtyotherme
ANNEXE I ter	Présentation de la chaîne de mesure
Annexe II	Chronogramme 1 = logique de commande
Annexe II bis	Chronogramme 2 = logique de lecture
Annexe III, page 1	Auscultation réseau Villers-St-Paul, (version 1)
Annexe III, page 2	Auscultations réseaux Magneville, Liancourt, (version 1)
Annexe III, page 3	Auscultations réseaux Méru, Villers-St-Leu, (version 1)
Annexe III, page 4	Auscultations réseaux Méru, Villers-St-Paul, (version 1)
Annexe III, page 5	Auscultation réseau St-Leu d'Esserent, (version 2)
Annexe III, page 6	Auscultation réseau Pont-St-Maxence, (version 2)
Annexe III, page 7	Auscultation réseau Villers-St-Paul, (version 1)
Annexe III, page 8	Auscultation réseau Creil (simulation), (version 2)
Annexe III, page 9	Auscultation réseau Liancourt (1), Fismes (version 2)
Annexe III, page 10	Auscultation réseau Fismes, (version 2)
Annexe III, page 11	Auscultation réseau Fismes, (version 2)
Annexe III, page 12	Auscultation réseau Joigny, (version 2)
Annexe III, page 13	Auscultation réseau Creil, (version 2)
Annexe IV	Tableaux conductivités
Annexe IV bis	Correspondance conductivité-concentrations
Annexe IV ter	Etalonnage conductivité

Annexe V, page 1	<u>Température mélange fonction température</u> <u>rejet</u>
_____	r = 2 cm, x = 20 cm
Annexe V, page 2 _____	r = 2 cm, x = 1 m
Annexe V, page 3 _____	r = 2 cm, x = 5 m
Annexe V, page 4 _____	r = 5 cm, x = 5 m
Annexe V, page 5 _____	r = 3 cm, x = 40 cm
Annexe VI, page 1	<u>isothermes sur 15 m</u>
_____	QI = 4l/s, DTI = 1°C
Annexe VI, page 2 _____	QI = 1l/s, DTI = 4°C
Annexe VI, page 3 _____	QI = 2l/s, DTI = 4°C
Annexe VI, page 4 _____	QI = 3l/s, DTI = 4°C
Annexe VI, page 5 _____	QI = 4l/s, DTI = 5°C
Annexe VI, page 6 _____	QI = 3l/s, DTI = 8°C
Annexe VII, page 1	<u>Différence température fonction distance</u> <u>mélange à DT constant</u>
_____	r = 2 cm, DT = 0,1°C
Annexe VII, page 2 _____	r = 2 cm, DT = 0,2°C
Annexe VII, page 3 _____	r = 5 cm, DT = 0,1°C
Annexe VII, page 4 _____	r = 5 cm, DT = 0,2°C
Annexe VIII, page 1	<u>Débit apport fonction distance mélange</u> <u>à DTI constant</u>
_____	r = 2 cm, DT = 0,1°C
Annexe VIII, page 2 _____	r = 2 cm, DT = 0,2°C
Annexe VIII, page 3 _____	r = 5 cm, DT = 0,1°C
Annexe VIII, page 4 _____	r = 5 cm, DT = 0,2°C
Annexe IX	Inspection à poste fixe
Annexe X, page 1 à 4	Listing programmes Ichtyotherme
Annexe XI	Listing programmes simulation isotherme
Annexe XII	Listing programme VAX, simulation eaux parasites
Annexe XIII, page 1&2	Organigramme - Programme Ichtyotherme

## I N T R O D U C T I O N

La politique suivie en France depuis une dizaine d'années en matière de protection de l'environnement a été fondée sur la construction et l'exploitation de stations d'épurations des eaux usées. Au cours de cette période, environ 7000 stations d'épurations (STEP) ont été construites, soit une moyenne de deux stations par jour [ 57 ].

En règle générale, ces stations ne réalisent pas les performances qu'on attendait d'elles, bien que la plupart n'ait pas encore atteint une charge correspondant à la charge nominale de dimensionnement. Une des principales causes de ce mauvais fonctionnement est l'arrivée d'eaux parasites, diluant les effluents et par là-même, perturbant le fonctionnement de ces ouvrages.

A l'heure actuelle, les services locaux d'exploitation des réseaux disposent de caméras vidéoscopiques permettant l'inspection des réseaux d'assainissement. Ces appareils très performants ont cependant des limitations ; ils ne permettent pas de caractériser le type et la qualité de l'effluent parasite mais surtout ils imposent des contraintes d'exploitations sévères notamment curage préalable du réseau, obturation temporaire de la canalisation et surveillance permanente de l'image.

Les autres méthodes de recherche d'eaux parasites reposent sur des investigations de durées variables. Les observations et mesures sont faites de regard en regard et le temps requis pour ce type de recherche est souvent très long. Les résultats obtenus sont intéressants mais trop souvent incomplets. Il faut rappeler aussi que ces recherches nécessitent un personnel qualifié sans compter sur la lourdeur administrative qui pèse sur toutes ces méthodes.

En raison des coûts engendrés par ces inspections et le temps d'obtention de résultats satisfaisants, il s'agissait donc de concevoir un matériel permettant des auscultations de réseaux sans aucune préparation du site et assurant des résultats in-situ à des coûts moindres. L'aspect économique de cette méthode n'est pas abordé dans cette thèse. Nous nous sommes principalement consacrés dans cette recherche à la technique de mesure des paramètres choisis, à l'automatisation de la méthode d'auscultation de réseaux et à l'interprétation des résultats.

Notre objectif est de réaliser un appareil autonome et entièrement automatisé que l'on pourrait appeler "Sonde thermométrique ou Ichtyotherme" destiné à détecter des entrées d'eaux parasites et des branchements de particuliers ou d'industries à l'intérieur des réseaux d'assainissement.

Le paramètre physique qui se prête le mieux à la traduction de l'information liée aux phénomènes d'infiltrations ou de rejets des eaux "parasites" est la température. Ce paramètre, quoique très intéressant pour la détection des eaux "parasites", ne nous permet pas de caractériser leur "qualité". Aussi, nous avons incorporé à cet appareil un deuxième module électronique pour la mesure de la conductivité : paramètre physicochimique, caractéristique de la qualité de certaines eaux.

La nature même des eaux usées impose un matériel robuste, fiable et de manipulation facile.

Les différentes options prises sont développées dans cette thèse.

Dans une première partie, nous exposons les notions relatives à la mesure de la température et de la conductivité pour justifier les différents choix. Ensuite, la sonde de mesure à deux paramètres est présentée et les principes de fonctionnement de la sonde avec les différentes options sont expliqués. Enfin, nous discutons le choix de la mesure de distance et présentons le matériel.

Dans une deuxième partie, nous présentons la chaîne de mesure en vue des auscultations de réseaux d'assainissement et donnons les principes de fonctionnement. Nous décrivons ensuite les programmes de traitement informatisé commandant la mesure et la saisie des données enregistrées et réalisant l'exploitation de ces données. Enfin, nous expliquons quelques techniques de fonctionnement des automatismes.

Une troisième partie est consacrée à l'approche mathématique des entrées d'eaux "parasites" dans les réseaux d'assainissement. Une application est développée à partir d'un modèle de diffusion gaussien à coefficient constant. Aucun développement mathématique n'est exposé dans cette partie, seules quelques formules importantes sont utilisées et discutées. Les notions générales exposées dans cette partie sont essentiellement tirées de [43], [97], [107]. L'interprétation des résultats est faite à partir des mesures de température obtenues lors de différents essais, la mesure de conductivité n'étant opérationnelle que depuis septembre 1983.

Enfin, dans la quatrième et dernière partie, nous montrons qu'à l'occasion d'essais sur le terrain, nous pouvons être confrontés aux problèmes de nappe à température variable, d'alimentation en eau potable des communes visitées, des "qualités" des nappes du point de vue de la conductivité, des types d'industries raccordées, etc. C'est pourquoi, l'interprétation des résultats ne peut ressortir d'une méthode rigoureuse. Une vision beaucoup plus globale du problème de l'assainissement nécessite une technique d'approche par l'analyse des systèmes. L'idée centrale est que tous les éléments d'un système sont plus ou moins interdépendants. Des connaissances plus vastes sur l'hydrogéologie de la région inspectée, son industrialisation, ses sources d'alimentation en eau potable deviennent alors indispensables pour une approche du sous-système "transport des eaux usées".

Cette recherche s'inscrit dans le cadre d'une meilleure gestion des réseaux d'assainissement et a fortiori d'un meilleur fonctionnement des stations d'épuration. C'est à notre connais-



sance l'une des premières en France qui aborde dans cette perspective le problème de l'auscultation et de la gestion des réseaux d'assainissement. Elle n'aurait certainement pas eu lieu sans le concours financier de la Société Lyonnaise des Eaux.

## P R E A M B U L E

Il y a quelques années, l'objectif principal de l'assainissement était d'éloigner les eaux usées et pluviales des habitations afin d'assurer la protection sanitaire des populations. La détérioration croissante de la qualité des milieux récepteurs a conduit les collectivités locales à la construction de stations d'épuration des eaux usées (STEP) et à la recherche d'un fonctionnement optimal de ces petites "usines".

Malgré la volonté de satisfaire les objectifs de rejet fixés lors de leur dimensionnement, le rendement obtenu dépasse rarement les 70% de la charge totale ; beaucoup de ces stations fonctionnent à moins de 40% [103].

Assurer une qualité constante de l'eau épurée suppose à priori une bonne connaissance des eaux brutes reçues en tête de stations (débit, charge,...) et une gestion efficace des organes de commande à l'intérieur de la station. En réalité, un nombre très faible de stations fonctionne sous ces conditions. Les principaux désordres constatés ont pour causes :

- une mauvaise connaissance des débits admis en tête de stations
- une absence de mesure de la "qualité" des eaux à l'entrée de stations.

Les fluctuations du débit et de la qualité des eaux à l'entrée des stations difficilement prévisibles diminuent le rendement d'épuration en provoquant un "lavage" de la biologie ou en perturbant la biologie.

L'automatisation du fonctionnement du traitement biologique passe obligatoirement par un contrôle continu du débit et de certains indices biologiques classiques (indice de Molhman, etc.).

Aussi, la gestion automatique des stations d'épurations pose-t-elle des problèmes délicats à résoudre : n'est-il pas nécessaire de s'attaquer tout d'abord aux principales causes de ce mauvais fonctionnement à savoir les débits et la qualité des eaux usées envoyées à la STEP, ces deux paramètres étant nécessairement liés entre eux ?

C'est donc principalement aux eaux "parasites" - sur lesquelles nous reviendrons dans notre quatrième partie - que nous nous attaquons en recherchant en priorité les moyens de les détecter.

Il s'agit des eaux ne devant pas emprunter le système de transport des eaux usées et qui sont à l'origine de multiples perturbations tant au niveau de la station d'épuration qu'au niveau du réseau d'assainissement.

Le phénomène des eaux parasites dans les réseaux d'assainissement apparaît pour tous les types de réseaux existants (unitaire, séparatif, pseudoséparatif) cependant, l'accent est mis notamment sur les réseaux séparatifs. En effet, ces réseaux directement raccordés aux stations d'épurations sont souvent responsables de la mauvaise collecte des eaux. Les autres types de réseaux disposent de déversoirs d'orage et sont donc "autorisés" à rejeter des eaux non traitées à l'exécutoire pendant de forts orages. Il arrive souvent que ces rejets soient continus ; alors là, sont mis en cause soit le mauvais dimensionnement du déversoir d'orage, soit l'admission d'eaux parasites.

Ces eaux "parasites" ou eaux "propres" ont des origines diverses : infiltrations d'eaux de nappe, captage de sources, introduction périodique d'eau de rivière ou d'eau de mer, admission d'eaux pluviales, déversement du trop plein des réservoirs d'eau potable et fonctionnement permanent de chasses d'eau. Il est donc souhaitable de localiser les entrées d'eaux parasites en vue d'en diminuer la plus grande partie possible. D'autre part, il est important d'agir pendant les périodes de haute nappe et sans aucune restriction due aux conditions climatiques ou à l'emplacement du site. En bonne logique, il faudrait pouvoir ausculter les réseaux

chaque fois que les conditions climatiques permettent des entrées d'eaux parasites.

Il est également essentiel de connaître les réponses du réseau sous différentes conditions pour "apprécier" son fonctionnement. Des contrôles en postes fixes sur de longues périodes continues sont nécessaires pour établir des diagnostics de réseaux et de stations.

En raison de la complexité de la chaîne de l'assainissement des eaux usées, la gestion des réseaux d'assainissement et des STEP peut être approchée par l'analyse des systèmes.

D'un côté, il s'agit de réduire au maximum la quantité d'eaux propres drainées dans les réseaux d'assainissement. Mais il est clair que, dans certains cas, la suppression totale des eaux parasites peut entraîner des gênes considérables au niveau de la population (odeurs de putréfaction) et des dégâts importants résultant de la stagnation des eaux (corrosion des canalisations, etc.).

De l'autre, il faut absolument conserver la propriété d'autocurage des réseaux. Par contre, une augmentation des débits par rapport au débit d'autocurage ne serait nullement bénéfique.

Nous sommes donc en face d'un optimum économique à trouver...

En réalité, avant d'arriver à cette approche, il faut disposer d'un matériel adapté aux réseaux et permettant la détection et la localisation des eaux parasites et poser clairement le pro-

blème des limites du système allant au-delà du réseau et de la station et incluant notamment la nappe sous-jacente, la rivière et le milieu récepteur.

## P R E M I E R E   P A R T I E

Les mesures effectuées par l'ICHTYOTHERME



## AVANT-PROPOS

De nombreux paramètres de nature physique, chimique ou biologique servent à caractériser les eaux usées. Parmi ces paramètres, un grand nombre d'entre eux impose une préparation de l'échantillon de mesure et requiert donc un temps de réponse souvent très long pour l'obtention des résultats.

Les seules grandeurs directement mesurables sont essentiellement physiques ; nous citerons la température, la conductivité, l'oxygène dissous.

L'objectif de notre recherche est une exploitation "in situ" des mesures effectuées avec une sonde ; les paramètres à utiliser doivent donc être directement mesurables et tout particulièrement sensibles aux entrées d'eaux parasites. Pour répondre à ces exigences, les informations attendues doivent être tirées de capteurs simples et robustes.

En outre, la méthode de mesure doit être :

- sensible, c'est-à-dire qu'elle doit posséder un pouvoir discriminateur (1). La mesure ne doit pas être trop sensible pour avoir une moyenne stable,
- juste donc fidèle et reproductible,
- aisément praticable, c'est-à-dire rapide, souple et ne nécessitant qu'un nombre restreint de manipulations.

Il se trouve que la température et la conductivité, en plus de la "valeur" de leur information respective dans la détection des eaux parasites, sont actuellement mesurables avec des capteurs réunissant les trois qualités précitées. Nous justifions, dans cette partie, les différents choix effectués dans la conception des capteurs et de l'électronique de mesure.

(1) *Le pouvoir discriminateur englobe le pouvoir séparateur et le pouvoir de résolution.*



Dans un premier paragraphe, nous expliquons la mesure de la température et discutons le choix du capteur.

Le deuxième paragraphe aborde le principe de mesure de la conductivité et présente le capteur le mieux adapté à nos conditions de mesure.

Nous présentons dans le troisième paragraphe, l'électronique de mesure avec la partie traitement du signal et mémorisation des données et justifions le choix de la méthode de mesure de la distance.

Enfin, nous présentons l'ichthyotherme, justifions les différents choix adoptés et suggérons des champs d'application connexes de cet appareil.

## I - La mesure de la température

### I.1. Choix et présentation du capteur de température

Il existe sur le marché plusieurs types de capteurs de température. Il nous faut choisir le capteur le mieux adapté à nos conditions de mesure et offrant le plus de précision. Le capteur de température sélectionné est un composant électronique à circuit intégré. Cet élément comporte une source de tension de référence intégrée. Dans des conditions classiques d'emploi, il délivre une tension proportionnelle à la température de pente 10 mV/degré Kelvin. Le signal analogique délivré par le capteur correspond donc directement à la température du milieu étudié. L'étalonnage de l'électronique de mesure est spécifique pour chaque capteur et consiste en un réglage du signal pour une température donnée et connue.

### I.2. Caractéristiques du capteur

Les caractéristiques principales du capteur de température sont l'impédance de sortie, la stabilité, la linéarité, le temps de réponse et la sensibilité.

- l'impédance de sortie définit la condition de perception du signal électronique par l'instrument de mesure ;
- la stabilité dans le temps se traduit par un phénomène de dérive. Cette dérive quoique infime semble inévitable avec les semi-conducteurs ;
- la linéarité ou courbe de variation du signal fourni par le capteur en fonction de la température est généralement considérée comme une droite dans la gamme de mesure ;
- le temps de réponse caractérise la sensibilité du capteur aux variations de température. Il correspond au temps

nécessaire à un signal fourni par un capteur pour varier de 63% de l'échelle totale connaissant l'échelle de variation du paramètre [101]. Dans notre cas, ce temps s'élève à 3 secondes. Cette "rapidité" de mesure est un gros avantage devant les temps de réponse des capteurs usuels tels que les sondes au platine ou les sondes à thermocouples.

### I.3. Montage du capteur

Le capteur choisi réalise la mesure de la température en se mettant en équilibre thermique avec le milieu environnant. Il est donc clair que le montage du capteur doit être isolé de tout corps ajoutant sa propre inertie thermique. Dans le cas contraire, le temps de réponse du capteur d'inertie connue se trouve modifié.

La mesure de la température est directement liée au transfert thermique entre le capteur et le milieu environnant et correspond à la température du capteur proprement dit.

Dans la définition du temps de réponse, le transfert thermique est essentiellement dû à la conduction. En réalité, pour des mesures de température des fluides en mouvement, la convection vient s'ajouter au phénomène de conduction, ce qui a pour avantage de diminuer sensiblement ce temps de réponse du capteur.

Par ailleurs, la liaison entre le capteur et le circuit de mesure doit être la plus courte possible afin d'éliminer l'influence des parasites et obtenir ainsi une exactitude de la mesure.

Sachant que le montage réalisé est destiné à être immergé dans des eaux usées, l'étanchéité du capteur et des câbles de liaison de celui-ci à l'électronique de mesure doit être parfaite.

## II - La mesure de la conductivité

### II.1. Définition de la mesure

Contrairement au paramètre température où la mesure est uniquement physique, la conductivité est une mesure physico-chimique.

Cette mesure traduit l'aptitude d'une eau à conduire du courant ; cela revient généralement à mesurer la résistance électrique d'une colonne cylindrique du liquide, de dimensions connues.

En négligeant les charges des colloïdes et des matières en suspension, la conductivité repose essentiellement sur la mesure des charges des matières solubles.

Sous l'effet de forces physiques dûes au frottement, chocs, etc., nous estimons que sur la durée d'une expérience, la conduction dûe à ces charges reste constante.

Il est certain qu'en présence d'un champ électrique, les mouvements ioniques s'ordonnent et la conduction électrique s'effectue avec transport de la matière. Les phénomènes de polarisation et d'encrassement des électrodes sont souvent observés pour des mesures réalisées à partir de deux électrodes sous tension continue.

La tendance actuelle est d'utiliser du courant alternatif pour éviter ce phénomène de polarisation des électrodes et de réaliser des mesures à l'aide de cellules à quatre électrodes pour réduire à son maximum l'encrassement du capteur.

Le principe de cette méthode de mesure est exposé dans les paragraphes suivants.

## II.2. Choix de la cellule de conductivité

Les mesures de la conductivité des "eaux usées" se situent dans la gamme  $500-15000 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ . Par conséquent, le choix de la cellule de conductivité est tiré des tableaux fournis [annexe IV].

Dans ce cas précis, ce sont les cellules à 4 électrodes qui sont les plus appropriées. Se pose ensuite le choix des matériaux constituant ces cellules : d'un côté, les graphites, le platine ou encore l'acier inoxydable pour les électrodes et de l'autre, le PVC ou le Teflon pour l'isolant [7].

Cependant, l'acier inoxydable du type 316L est déconseillé en raison de la formation de couches superficielles d'oxydes de chrome plus particulièrement sur les électrodes, laquelle ralentie considérablement la cinétique de la réaction de transfert des électrons [ 56 ].

### II.3. Caractéristique du capteur : la constante de cellule

D'une manière générale, les dimensions de la colonne de liquide dans laquelle se trouvent deux électrodes isolées l'une de l'autre et distantes de x centimètres caractérisent une "constante de cellule K".

$$K = x.S^{-1} \text{ [en cm}^{-1}\text{]}$$

S étant la surface identique des deux électrodes.

On définit parfois comme facteur de cellule, l'inverse de la grandeur K.

L'ordre de grandeur de cette constante est généralement compris entre 0,01 et 10 cm<sup>-1</sup>. Cette constante de cellule peut varier par suite d'une altération des électrodes ; la vérification de ce paramètre s'effectue à l'aide d'une solution électrolytique de conductivité connue.

La cellule à 4 électrodes choisie pour notre application est ~~sons~~ constante de cellule, ce qui est un avantage.

### II.4. Description du capteur

La cellule de conductivité comporte :

- deux électrodes de graphite appelées électrodes de courant
- deux électrodes de platine appelées électrodes de tension
- une thermistance pour la compensation automatique de la température.

### II.5. Montage du capteur

En raison de la fréquence de mesure de notre appareil égale à 80 Hz, fréquence voisine du 50 Hz, il est conseillé d'utiliser un câble de liaison du capteur au circuit de mesure de capacité linéique réduite à son maximum et d'une parfaite étanchéité.

D'autre part, il faut éviter tout obstacle métallique ou isolant dans un rayon de 8 cm autour des électrodes. Dans le cas contraire, les lignes de champ risquent d'emprunter tout conducteur métallique ou seront déviées par tout corps isolant et de là même, fausser complètement la mesure (voir paragraphe II.6.). Le choix de la cellule de mesure a été orienté sur un capteur de dimensions réduites afin de ne pas perturber l'écoulement des eaux.

### II.6. Principe de mesure

Une densité de courant constante ( $a$ ) est réalisée dans l'eau étudiée au moyen d'un générateur à courant constant, relié aux électrodes de travail 1 et 2. Le courant alternatif produit dans le liquide un champ de dispersion, dans lequel est captée par les électrodes 3 et 4, une tension non polarisée. La conductivité du milieu est calculée à partir de la différence de potentiel  $V$  mesurée entre 3 et 4 de ( $a$ ) et de la distance  $P$  entre les points de mesure.

Pratiquement aucun courant ne parcourt les électrodes de tension. Comme la polarisation n'apparaît qu'à proximité immédiate des électrodes 1 et 2 et que les électrodes de tension 3 et 4 sont situées dans la zone de répartition linéaire du potentiel, la mesure ne peut pas être faussée.

En outre, la grandeur mesurée est totalement indépendante des discontinuités de potentiel non contrôlées qui se produisent au niveau des électrodes de travail 1 et 2 et de ce fait, l'étalonnage reste valable sur des très longues périodes.

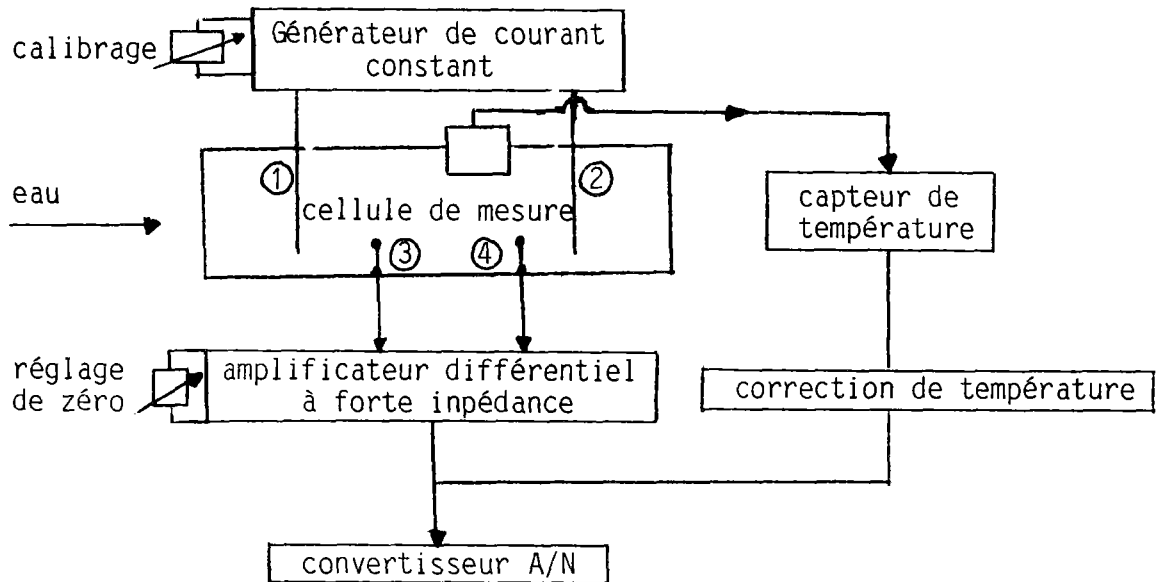


Figure 1 : Principe de mesure à 4 électrodes (documents PROCAL)

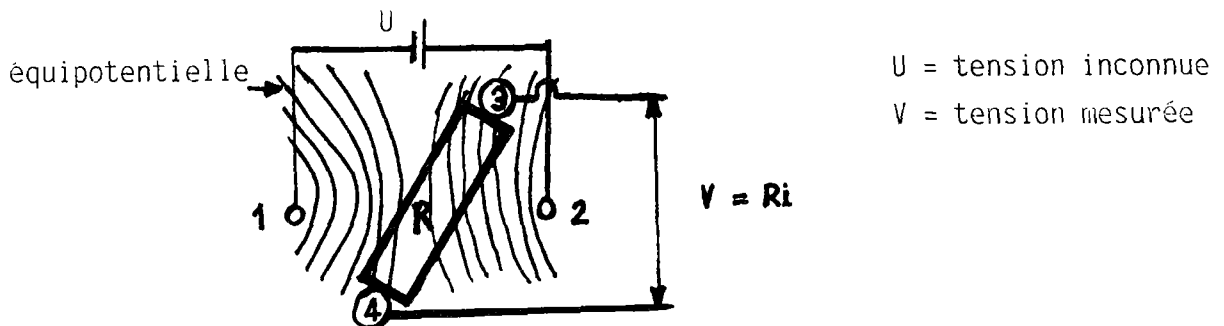


Figure 2 : Disposition des électrodes dans la cellule de mesure (capteur-Ponselle)

La tension de mesure est redressée et amplifiée. Elle doit être filtrée pour obtenir en l'absence de variation de conductivité une tension continue stable. Cette opération de filtrage est responsable des longs temps de réponse des appareils.



Dans notre cas, le temps de réponse est de 10 secondes pour 90% du signal et non 63% comme cela a été défini auparavant.

### II.6.1. Description du conductimètre

Le conductimètre comporte :

- 4 gammes de mesures  $0-200 \mu\text{Scm}^{-1}$ ,  $0-2000 \mu\text{Scm}^{-1}$ ,  $0-20000 \mu\text{S/cm}$  et  $0-200000 \mu\text{S/cm}$ .
- une prise de capteur
- un affichage à cristaux liquides
- un potentiomètre pour l'étalonnage de la mesure
- un deuxième potentiomètre permettant un réglage interne du signal.

#### II.6.1.1. Etalonnage de la mesure

A l'aide du commutateur de gammes, on sélectionne une résistance  $r$  placée en série avec la cellule de mesure. Cette résistance  $r$  est alimentée par la tension alternative stabilisée. La tension de mesure aux bornes de cette résistance est directement proportionnelle à la conductivité [56]. Le réglage est effectué à la réalisation du conductimètre.

Le coefficient de température étant constant et égal à  $2,158\%/^{\circ}\text{C}$ , le choix d'une température de référence  $15,20$  ou  $25^{\circ}\text{C}$  est possible à partir d'un tableau de correction de la température pour une solution donnée [Annexe IVter].

La compensation automatique de la température est effectuée pour la température de  $20^{\circ}\text{C}$  [7].

#### II.6.1.2. Variables influençant la mesure

Les variables influençant la mesure sont d'ordre physique, chimique et électrique. Nous citerons l'encrassement, la fréquence, le blindage et la vitesse d'écoulement.

Pour ce qui concerne cette dernière variable il apparaît que la mesure reste bonne tant qu'on a un écoulement laminaire ; autrement, c'est une question dynamique qui ne permet plus aux électrodes de toucher le liquide intimement et par conséquent fausse la mesure [7].

### III - Sauvegarde des données

Deux solutions existent pour la mémorisation des données :

- la première consiste en un rapatriement des mesures sur le site (hors réseau) et en leur stockage sur des supports classiques : RAM du calculateur, bandes graphiques, pages d'imprimantes, cassettes magnétiques, etc. La réalisation de ce rapatriement impose une liaison permanente de la sonde de mesure au calculateur, pendant la campagne de mesure, pour la transmission des mesures. La transmission des mesures dans ce cas-là peut se faire soit par un signal numérique, soit par un signal analogique (fréquence).

Cette solution, a priori la plus simple est de loin la plus difficile à réaliser compte tenu de la "qualité" des eaux drainées et des problèmes électriques inhérents à cette méthode. Il faut noter par ailleurs que le câble électrique devra servir en outre à la traction de l'appareil.

Compte tenu de la complexité du problème et des difficultés liées à l'exploitation de cet appareil, cette solution n'a pas été retenue.

- la deuxième solution comporte les mêmes fonctions que la première mais toutes sont réunies dans l'appareil, donc pas de transport du signal hors de l'appareil. Cette solution consiste donc à incorporer une mini-imprimante ou une cassette magnétique pour enregistrer les mesures. En raison des dimensions que nous nous sommes imposées, et de l'autonomie électrique essentielle à ce type d'exploitation, il nous paraît impossible, à l'heure actuelle, de répondre à ces objectifs.

Grâce aux nouvelles technologies à très faible consommation électrique (C-MOS), une solution consiste donc à une sauvegarde des mesures dans des mémoires C.Mos.

Avant d'être stockées, ces mesures sont d'abord converties en signaux numériques puis stockées en mémoire. L'électronique de mesure comprend plusieurs fonctions que nous allons exposer dans le paragraphe suivant.

Cette solution a donc été retenue et donne entière satisfaction.

## IV - Les circuits de mesures

### IV.1. Electronique de mesure

L'électronique en logique cablée, est entièrement implantée sur un circuit imprimé. Elle comprend les fonctions suivantes :

- alimentation
- conversion analogique-numérique des mesures
- mémorisation des mesures
- logique de commande et de lecture de la mesure
- sortie vers l'interface.

#### IV.1.1. Alimentation

L'électronique de mesure est alimentée par une tension stabilisée de 5V. Le 12V utilisé à l'entrée du circuit sert à recharger les batteries incorporées à la sonde. En période de mesure, l'électronique, en technologie C.MOS consomme une intensité de 10 mA seulement.

#### IV.1.2. Convertisseur Analogique Numérique (CAN)

Le choix du convertisseur est fonction de la précision de la mesure et de la vitesse de conversion.

Dans notre cas, le convertisseur utilisé a une résolution de 8 bits. La résolution du dixième degré est obtenue en séparant la plage 0-50°C en 3 gammes de mesures programmables. Le traitement de la mesure se fait de la manière suivante :

l'offset de gamme est soustrait des signaux électriques venant du capteur. Ensuite, les signaux obtenus sont amplifiés puis transmis au convertisseur et enfin, conservés en mémoire.

Nous n'abordons pas la présentation des différentes caractéristiques des amplificateurs et des convertisseurs dans

cette recherche. Cependant, nous donnons en annexes les formules de conversion des mesures stockées en degré celsius et en micro-siemens par centimètre.

#### IV.1.3. Stockage des mesures

Deux circuits mémoires, ayant une capacité totale de 256 octets sont utilisés pour la sauvegarde des mesures. Nous disposons de huit cadences de mesures permettant des durées d'inspection allant de 15 minutes à 36 heures. La cadence standard de 8 secondes permet des auscultations de biefs pouvant atteindre 120 mètres.

Il convient de préciser que les mesures stockées sont des mesures instantanées.

#### IV.1.4. Logique de commande et de lecture

La logique de dialogue du circuit de mesure avec un automate programmable repose sur deux procédures :

- une procédure de lancement des mesures et une procédure de lecture selon deux chronogrammes précis.

La description de ces deux chronogrammes est fournie en annexes [ II ].

Il convient de signaler que la logique de commande des signaux est une logique à 3 états. L'un des trois se distingue par sa haute impédance.

#### IV.1.5. Sorties vers l'interface

Le couplage du circuit de mesure à un automate programmable ou à un microordinateur de commande doit se faire par l'intermédiaire d'interface.

Les critères principaux à cette réalisation sont :

- une compatibilité mécanique et électrique
- une adaptation des signaux.

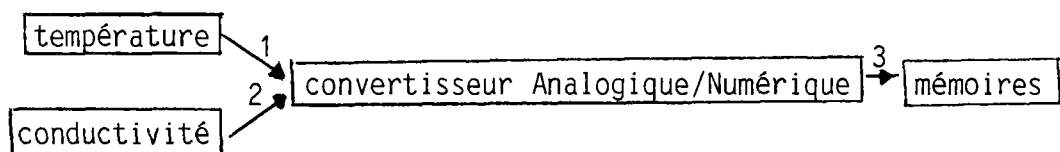
Les sorties vers l'interface comportent :

- un bus d'adresses de 8 bits
- un bus de données de 8 bits
- un bus de commande.

#### IV.2. Couplage des deux électroniques de mesures

A l'origine, nous disposons de deux électroniques de mesures distinctes. Une électronique de mesure de la température avec sauvegarde des données en mémoire et une deuxième servant à la mesure de la conductivité avec affichage des mesures seulement.

La solution retenue consiste donc en un couplage des deux électroniques de mesure et en un stockage des données en mémoires déjà existantes.



Les deux circuits de mesures sont incorporés dans un conteneur et le choix du type de mesure est programmable par le calculateur. L'affichage des mesures ne s'avère utile que dans la mesure où il permet une visualisation immédiate des mesures pendant les phases d'étalonnage.

#### IV.3. Mesure de distance

En raison de l'autonomie électrique de la sonde de mesure, la seule liaison de la sonde avec l'extérieur est une liaison mécanique.

Le treuil de traction de la sonde dans le réseau sert en outre pour le comptage de distance. La pose d'un générateur d'impulsions à contact libre de potentiel fixé sur l'axe du treuil permet un suivi de la position de la sonde sur le microordinateur de commandes, en temps réel. Comme les mesures contenues dans le conteneur, bien qu'exploitées en temps différé sont repérées dans le temps (8 cadences programmables par calculateur sont possibles) et que le calculateur dispose aussi d'une horloge, la synchronisation naturelle des deux horloges à quartz pendant le temps d'auscultation assure un bon repérage en distance de l'ichtyotherme. Ainsi, dès le lancement de la mesure suivant la cadence de mesure choisie, le calculateur vient stocker les mesures de distance à chaque cadence de mesure.

##### IV.3.1. Principe de mesure de la distance

Le générateur d'impulsion (G.I.) est directement relié au microordinateur de commande par l'intermédiaire d'une interface d'entrée/sortie parallèles.

Le décompte des impulsions engendrées par le treuil donne le nombre de tours du treuil. Moyennant un étalonnage du treuil, nous déduisons la distance effectuée par la sonde à partir des impulsions comptabilisées.

En raison de la longueur importante reliant le G.I. au microordinateur HP, nous avons réalisé un circuit de protection des entrées par opto-coupleurs pour nous assurer d'une bonne immunité aux parasites.

#### IV.3.2. Montage du générateur d'impulsions

Le montage du Générateur d'Impulsions sur le treuil est réalisé à l'aide d'un système à "cardans". La liaison du Générateur d'Impulsions au microordinateur est assurée par un câble blindé à 5 conducteurs, de faible capacité linéique.

### V - Présentation de l'Ichtyotherme

#### V.1. Le bulbe de protection de l'électronique

Compte tenu du faible diamètre des réseaux séparatifs et du nombre très important de canalisations de diamètre inférieur à 200 mm, la forme et les dimensions du bulbe ou conteneur ont été choisis de façon à permettre l'auscultation des principaux réseaux existants.

La sonde est donc constituée d'un bulbe de diamètre 100 mm et d'une ogive. L'ogive a pour fonction l'implantation de l'électronique de mesure dans le conteneur et



l'étanchéité du connecteur permettant le dialogue avec le calculateur de commande.

La matière utilisée est l'acier inoxydable. Le poids relativement important de l'ensemble (environ 8 kg) permet une bonne "assise" de l'appareil dans le réseau et assure une meilleure stabilité en radier. Cette stabilité de l'appareil est nécessaire pour une bonne traction et un repérage précis en distance.

En outre, le poids important de l'appareil assure un curage de réseau : la vase sédimentée dans la canalisation est remise en suspension et transportée vers l'aval.

## V.2. Le montage des capteurs

D'une manière générale, c'est près de la surface de l'écoulement que les tâches thermiques ont le plus de chance d'être confinées.

Pour assurer une efficacité des inspections, les capteurs doivent si possible suivre une ligne d'auscultation assez proche de cette surface.

Pour répondre à cet objectif, les capteurs sont déportés à l'extérieur du bulbe et fixés au bout d'une tige de 40 cm de long, déjàugée par des flotteurs, de manière à maintenir les capteurs tout près de la surface. Cette tige, articulée autour d'une axe, permet en outre, la descente de la sonde de mesure dans des regards de faibles diamètres (environ 50 cm), grâce à une position entièrement repliée.

### V.3. Le relais bistable

Pour supprimer toute manipulation de l'ogive pour la mise en marche ou à l'arrêt des batteries d'alimentation des circuits de mesure, nous avons utilisé un relais bistable bipolaire. Le basculement d'un état du relais à l'autre est possible par excitation du relais en tension. La stabilité des états du relais est assurée même en l'absence de courant, voire pour des accélérations inférieures à 10 g (g: accélération de la pesanteur).

### V.4. Utilisations connexes

L'ichtyotherme est particulièrement adapté aux conditions de mesure les plus difficiles. Nous l'avons conçu pour qu'il soit utilisé dans les réseaux d'assainissement non visitables.

Compte tenu de la nature des eaux usées et des conditions d'immersion de l'ichtyotherme, l'étanchéité des capteurs et du bulbe a particulièrement retenu notre attention.

Par conséquent, les avantages considérables qu'apportent l'autonomie électrique et la sauvegarde des mesures dans des mémoires C.MOS, nous incitent à proposer l'ichtyotherme pour des domaines tels que l'Océanographie marine, l'hydrogéologie des forages, l'hydrobiologie des lacs, etc.

Les mesures de température utilisées dans ces domaines font appel aux thermomètres à renversement ou à des capteurs reliés à la surface de l'eau. Ces dernières méthodes relativement complexes et délicates à mettre au point sont très répandues dans les services d'océanographie marine et d'hydrobiologie des lacs.

### V.5. Amélioration de la mesure

Comme nous l'avons fait remarquer dans les paragraphes précédents, la logique des circuits de mesure est une logique cablée.

Actuellement, il ne nous est possible, en raison de la faible capacité réunie dont on dispose (256 octets), de venir stocker les valeurs des deux paramètres utilisés simultanément. Il est certain que l'idéal serait de disposer de la valeur des deux paramètres simultanément pour une campagne d'auscultation de réseaux. Cette modification n'est possible qu'en augmentant la capacité mémoire. En outre l'implantation d'une logique programmée du circuit de mesure pourrait réduire de manière considérable le cablage nécessaire à toute interface parallèle, en utilisant une interface série pour la gestion de la sonde.

Il serait alors possible de faire subir des traitements mathématiques à la mesure stockée, en l'occurrence une moyenne sur la cadence choisie.

Par ailleurs, il serait souhaitable d'avoir toutes les options de mesure entièrement programmables à partir du micro-ordinateur de commandes.

L'ensemble de ces modifications réalisables à partir d'un microprocesseur allègerait les différentes manipulations de la sonde.

## VI - Conclusion

La réalisation de l'ichtyotherme nous a donné entière satisfaction. Les options prises correspondent aux différentes utilisations pour une meilleure police des réseaux.

Les différentes modifications apportées tout au long de cette mise au point de la sonde ont répondu à notre objectif de conception d'un appareil robuste et précis.



## DEUXIEME PARTIE

PRESENTATION DE LA CHAINE DE MESURE

ET PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT



## HISTORIQUE

Avant de concevoir une chaîne de mesure adaptée à l'auscultation des réseaux d'assainissement, nous avons voulu vérifier l'intérêt de la mesure de la température dans la détection des eaux parasites.

Les premiers essais sur le terrain ont eu lieu en février 1982. Les commandes de la sonde étaient effectuées alors par un automate programmable muni d'une mini-imprimante. Les programmes ont été écrits en langage machine dans une structure du type GRAFCET. Les mesures de températures étaient repérées seulement par rapport au temps ; il fallait donc postuler une vitesse d'avancement constante de la sonde pour récupérer un graphe de la température en fonction de la distance.

Les résultats obtenus lors de nos campagnes d'essais qui ont duré deux mois, ont été satisfaisants.

La conception de la nouvelle chaîne de mesure que nous allons présenter dans les paragraphes suivants a débuté en mai 1982 et les premiers essais sur le terrain ont eu lieu au mois de janvier 1983.

Un des objectifs de ce travail est donc d'augmenter la fiabilité de la chaîne. La chaîne de mesure étant composée d'un ensemble d'appareils, la fiabilité de chaque élément contribue directement à la fiabilité de la chaîne [108].

Pour un appareil original, il faut associer des composants de série, à un appareil spécifique aussi réduit que possible. Cette attitude, recherchée dans notre travail, peut être expliquée par le fait que :



- les appareils de petite série sont généralement performants et astucieux mais beaucoup moins fiables à cause du coût d'une véritable étude de fiabilité

- les appareils électroniques de très grande série sont extrêmement fiables parce qu'ils sont "suivis" obligatoirement d'une véritable étude de fiabilité.

## AVANT-PROPOS

En fonction du paramètre utilisé, l'exploitation des mesures est obligatoirement suivie d'un diagnostic sur le fonctionnement du réseau ausculté.

C'est dans l'optique d'une exploitation in situ des mesures stockées dans la sonde que nous présentons la chaîne de mesure. Nous détaillons ensuite les programmes de commande de la mesure, d'acquisition et de traitement des données et de gestion des fichiers créés.

Enfin, nous définissons quelques techniques de programmation des automatismes utilisés dans la gestion des réseaux et des STEP classiques.

Il convient de définir dès maintenant les notions de programmes et de processus :

- un programme est un ensemble d'instructions exécutées sans relation avec le monde extérieur pendant son déroulement. Nous citerons les programmes de calcul, de gestion technique, de gestion administrative
- un processus consiste en un déroulement de programmes en synchronisme avec les événements extérieurs.

Les différentes relations du microordinateur de commande avec le processus (acquisition des signaux, réglage et commande d'automatismes) constituent ce qu'on appelle une conduite de processus.

Nous pouvons remarquer que la notion de programme est une notion statique ; par contre la notion de processus est une notion dynamique.

## I - Présentation de la chaîne de mesure et principes d'utilisation

### I.1. La chaîne de mesure

Le matériel utilisé est composé de [annexe I ter] :

- un microordinateur de bureau muni d'une interface entrées/sorties parallèles
- un bulbe de mesure avec ses capteurs
- un treuil muni d'un générateur d'impulsions (G.I.)
- un chargeur-onduleur de 120 VA.

L'alimentation en courant alternatif du microordinateur est assurée par le chargeur-onduleur. Ces alimentations dites statiques ne sont pas bruyantes et nécessitent peu d'entretien. Elles sont en outre utilisées en informatique principalement comme alimentations de secours.

L'intérêt de ce choix vient du fait que les différentes interventions sur les réseaux ne doivent pas gêner les riverains (bruit) et que le branchement secteur soit disponible à tout moment et à tout endroit. Il faut noter que les problèmes d'anomalies de réseau d'assainissement (eaux parasites...) arrivent très souvent à des endroits difficilement accessibles. Les interventions des Services de l'eau doivent être rapides et efficaces.

### I.2. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement de la chaîne de mesure consiste en 4 tâches distinctes :

- lancement de la mesure
- autorisation de la mesure de la distance et acquisition des impulsions
- lecture des mesures stockées
- sauvegarde et traitement des mesures par le micro-ordinateur de gestion.

### I.2.1. Lancement de la mesure

Pour réaliser une auscultation de réseau, les principales options telles que gamme, cadence, sont arrêtées avant le lancement de la mesure. Aussitôt la mesure lancée, commence le stockage des mesures dans la sonde selon la cadence préprogrammée.

### I.2.2. Mesure de la distance

Le générateur d'impulsions est directement relié au microordinateur par l'intermédiaire d'une interface d'entrées/sorties parallèles. Les impulsions engendrées par le treuil sont comptabilisées et le repérage dans le temps de l'immersion et de l'émersion de la sonde se fait par un interrupteur monté sur le treuil et appelé "topeur".

### I.2.3. Lecture des mesures

Dans l'électronique du bulbe, une fois les 256 places mémoires remplies, la fonction mémorisation prend fin et les mesures sont sauvegardées. La lecture des mesures peut s'effectuer à n'importe quel moment pour autant que la charge des batteries incorporées à la sonde soit suffisante pour leur sauvegarde.

#### I.2.4. Sauvegarde et traitement des mesures

La sauvegarde des mesures consiste en un archivage de résultats dans un fichier de données. Les mémoires de masse dans notre cas, sont des cassettes ayant une capacité d'une trentaine d'auscultation chacune.

Le traitement des mesures, sous différentes formes (graphique, statistique) sert à l'établissement d'un diagnostic de fonctionnement du réseau et peut éventuellement précéder la sauvegarde des mesures.

### II - Commandes de lancement et d'acquisition de la mesure

#### II.1. Présentation du matériel informatique

Les commandes de l'automatisme de la sonde de mesure sont effectuées à partir de touches préprogrammées d'un microordinateur de marque Hewlett Packard HP85F dont le langage de programmation est le Basic. Ce microordinateur disposant d'une mémoire vive de 16 K octets comporte un écran et une imprimante et permet de stocker des données ou programmes sur cassettes. Nous utilisons une interface parallèle pour la commande des automatismes de la sonde, appelée GPI0.

Il peut être, à l'aide de certaines interfaces appropriées, relié à divers appareils, parmi lesquels :

- une table traçante HP
- un autre ordinateur.

Ces deux possibilités n'ont pas été développées dans cette thèse. Nous pensons qu'il peut s'agir d'un minimum d'équipements pour un Service spécialisé travaillant dans la gestion des réseaux d'assainissement.

### II.1.1. Description de l'interface G.P.I.O.

Pour l'ichtyotherme, l'interface G.P.I.O. se présente physiquement sous la forme d'un cordon ombilical reliant le bulbe au calculateur pendant les phases de lancement et de lectures des mesures.

L'interface G.P.I.O. dispose de quatre ports d'entrées/sorties de 8 bits dont deux bidirectionnels, de 8 lignes de commande et de 4 flags.

Les caractéristiques essentielles de cette interface sont essentiellement :

- le choix du sens de circulation des données
- l'affectation et le choix des ports d'entrées/sorties
- le choix de la logique de commande.

Il convient de signaler qu'il n'existe pas de ligne d'alimentation en 5V ou 12V à partir de cette interface.

### II.1.2. Possibilités de gestion offertes par l'interface G.P.I.O.

Plusieurs méthodes de supervision des entrées/sorties sont possibles avec l'interface G.P.I.O. Ces méthodes nécessitent des procédures assez complexes pour la gestion des entrées/sorties en faisant principalement appel aux lignes appelées FLAG et Status pour la détection du signal venant du périphérique (dans notre cas, il s'agit de la sonde de mesure) et aux lignes de CONTROL pour envoyer un signal de l'interface vers le périphérique.

### II.1.3. L'horloge interne

Cette horloge permet une interruption périodique du processus et dévie le calculateur vers un sous-programme qui exécute un certain nombre de calculs. Ces opérations achevées, le programme se poursuit à l'endroit où il a été interrompu jusqu'à un nouvel ordre d'interruption.

Ces interruptions périodiques à cadence identique à celle de la mesure dans l'ichtyotherme sont utiles pour la corrélation "paramètre-distance".

Ces interruptions sont effectuées par le calculateur avec l'instruction ON TIMER.

Comme expliqué dans le paragraphe VI.3. de la première partie, il y a donc deux horloges synchrones : une dans l'ichtyotherme et une deuxième dans le calculateur.

## II.2. Le traitement des données

Nous trouverons en annexes II, X, XIII, les chronogrammes servant aux commandes de mesures, l'organigramme détaillé du programme principal de gestion de l'ichtyotherme, la liste des programmes annexes et les listings complets ainsi que quelques commentaires destinés à faciliter la compréhension de l'ensemble du processus.

Le programme principal exécute les opérations principales suivantes :

- il lance la mesure en liaison avec l'opérateur, à partir des choix des paramètres de la mesure (cadence, gamme,...)
- il signale à l'opérateur la fin de la procédure de lancement de la mesure et la comptabilisation des distances. A partir de cet instant, la sonde peut être déconnectée du calculateur et immergée dans le réseau
- il comptabilise les impulsions engendrées par le treuil et note les deux tops éventuels d'immersion et d'émersion de la sonde de mesure
- après connection de la sonde au calculateur à la fin d'auscultation, il lance le destockage des mesures conservées en mémoire dans la sonde, en liaison avec l'opérateur
- il peut visualiser les mesures et les distances effectuées et sauvegarder ces données
- il fournit les temps d'immersion de la sonde, la valeur moyenne des paramètres mesurés etc..., et exécute finalement le tracé des courbes température-distance et température-temps, ou conductivité-distance et conductivité-temps.

### II.2.1. La structure des différents programmes

Les programmes disponibles sont structurés de la manière suivante :

- un programme de gestion de la sonde appelé AUTOST
- un programme principal appelé IC TY0 1
- un programme de gestion de graphes lors d'auscultation de réseau appelé TGRAF 1
- un programme de gestion de graphe lors d'inspection en poste fixe appelé TGRAF 2
- un programme de gestion de fichiers de données appelé FICH 01.



La durée d'exploitation des résultats n'excède pas plus de 5 minutes du HP85. Il est à noter qu'aussitôt les résultats sauvegardés, une deuxième campagne d'auscultation peut éventuellement être lancée et l'exploitation des données effectuée qu'à la fin des campagnes d'auscultations.

### II.2.2. Principales interruptions utilisées

Les différentes interruptions étant fondées sur des priorités (ou hiérarchies), le choix des priorités doit être judicieusement arrêté pour éviter toute anomalie dans la gestion des programmes.

Les principales interruptions utilisées sont classées par ordre de priorité. Nous trouvons :

- ON ERROR sert à prévenir l'opérateur d'erreurs survenues lors d'un traitement, peut assurer la sauvegarde des données et met le programme en attente
- ON INTR sert à la gestion des impulsions générées par le treuil
- ON KEY interruption manuelle assurant des sauts à des sous-programmes ou à des programmes annexes
- ON TIMER horloge HP programmée sur l'horloge de la sonde. Sert au traitement des mesures de distance.

Nous remarquons que la priorité des touches préprogrammées sur l'horloge peut provoquer des erreurs sur les dernières valeurs enregistrées, en l'absence de synchronisation des 2 horloges. Par contre, la priorité du traitement des mesures de distance est inférieure au comptage des distances,

ce qui nous confirme l'exactitude de nos mesures et élimine les erreurs systématiques induites dans un cas contraire.

### III - Définition du système de traitement

A partir du lancement de la mesure, le calculateur est en attente d'impulsions enregistrées par le treuil pour la comptabilisation de la distance. En raison de la liaison continue du calculateur HP au treuil de traction (périphérique) et de la gestion des interruptions, nous considérons la liaison HP-treuil comme une liaison "ON-LINE".

L'exploitation in-situ des données justifie l'utilisation d'un tel système. Cette option tend à se développer avec la "démocratisation" des microordinateurs plus spécialement dans les laboratoires d'analyses.

Notre liaison "ON-LINE" est considérée comme "passive" car aucune action n'est exercée par le calculateur sur le périphérique. Le microordinateur se contente uniquement de comptabiliser les impulsions venant du treuil. Les principales sollicitations aléatoires sont effectuées par interruption.

La caractéristique principale d'un tel système est sa disponibilité aux événements aléatoires par l'intermédiaire du jeu des interruptions.

D'autre part, en raison de l'autonomie de la sonde, l'obtention des résultats n'est pas possible avant la fin du cycle d'auscultation de réseau. Le traitement des données réalisé en différé et par "paquet" peut être défini comme du "batch-processing".

En résumé, nous définissons notre système de traitement par une liaison "ON LINE" avec traitement des données en "batch processing".

## VI - Conclusion

La chaîne de mesure conçue pour l'auscultation des réseaux d'assainissement a pour avantages d'être simple et efficace.

L'efficacité de cette méthode est obtenue par le choix du calculateur à comparer aux enregistreurs actuels. Les trois principaux avantages sont :

- enregistrement en temps réel de l'information minimum : la distance dans le temps
- traitement extrêmement complet présentant un diagnostic très clair en temps différé
- sur un bief de 100 m, on conserve quasiment tous les avantages de l'enregistrement continu, alors qu'on fait l'économie du transport du signal et du contrôle visuel de l'enregistrement.

## T R O I S I E M E   P A R T I E

MODELISATION DES REJETS D'EAU CHAUDE  
DANS UN ECOULEMENT FROID  
et  
INTERPRETATION DES MESURES IN-SITU



## AVANT-PROPOS

Les principaux rejets d'eau dans les réseaux d'assainissement se font gravitairement. Ces rejets à température sensiblement différente de celle des eaux du réseau créent des tâches thermiques. Celles-ci s'étalent sur des distances plus ou moins longues suivant l'importance du rejet.

Les multiples auscultations de réseaux effectuées en région parisienne nous ont permis, à partir du paramètre température, de caractériser ces phénomènes de mélange.

L'attitude recherchée dans cette partie est de trouver le modèle le plus simple et le plus adapté pour décrire les phénomènes observés et de simuler les entrées de nappe dans le réseau.

Les eaux parasites, à régime stationnaire, constituent donc des rejets continus dans un écoulement turbulent. Le modèle de diffusion Gaussien à coefficient constant appliqué à ces problèmes représente relativement bien l'évolution spatiale de la tâche thermique au voisinage du rejet et nous permet de connaître les distributions de température dans une section de l'écoulement.

## I - Formulation générale d'un problème de rejet dans un écoulement froid

Comment déterminer en tout point le champ des températures d'une canalisation d'assainissement recevant par exemple un apport radial d'eau de nappe par un joint non étanche ?

En théorie, le problème a une solution unique engendrée par trois relations de conservation :

### 1. Conservation de la masse

$$\text{div } \vec{U} = 0$$

### 1. Conservation de la quantité de mouvement (NAVIER-STOCKES)

$$\frac{d U_i}{dt} = - g \beta T S_{i3} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p^*}{\partial x_i} + \nu \Delta U_i$$

### 3. Conservation de l'énergie

$$\frac{dT}{dt} = D \cdot \Delta T$$

Ces équations sont à assortir de conditions aux limites complexes à l'endroit de l'intrusion d'eau chaude. Le problème ne peut être résolu sans approximations qu'à l'aide d'une méthode numérique dont la lourdeur est incompatible avec notre sujet.

Nous allons donc faire des hypothèses très fortement simplificatrices en partant de l'idée que nous cherchons une limite de détection de l'Ichthyotherme.

## II - Hypothèses simplificatrices

Quelle est la plus petite perturbation qu'on puisse espérer détecter sachant que notre capteur a une résolution meilleure que  $0,1^{\circ}\text{C}$  ? Il faut donc imaginer un rejet de débit très faible par rapport au débit de la canalisation avec un écart de température initial de l'ordre de quelques degrés. Moyennant ces hypothèses, nous décidons de négliger trois flux :

- le flux de masse
- le flux de quantité de mouvement
- le flux de flottabilité

ce qui équivaut à dire que nous ignorons tout phénomène de jet, de panache et de stratification thermique.

En bref, nous ne retenons que l'équation de la chaleur :

$$\frac{dT}{dt} = D \cdot \Delta T$$

De plus, nous faisons les hypothèses classiques de l'écoulement unidimensionnel filaire et du régime permanent, ce qui permet d'écrire l'équation sous une forme bien connue

$$U \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = D \left( \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

Par ailleurs, pour simplifier encore, nous remplaçons la condition à la limite du rejet par une source ponctuelle de chaleur et les conditions aux parois par un écoulement infini isotherme à l'extérieur :



$$U \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = D \left( \frac{\partial T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

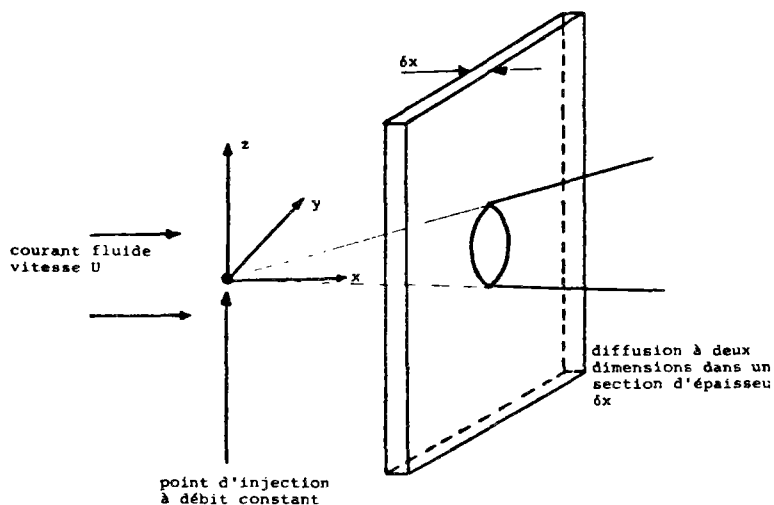
$$T(\infty) = 0$$

La source est définie par son débit en l/s et par son écart de température à l'effluent  $T_y$ .

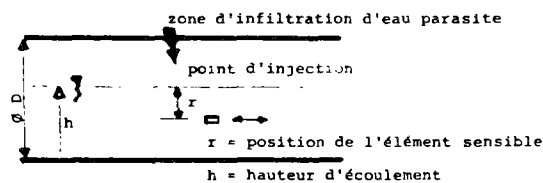
La solution analytique est :

$$T = \frac{q \cdot T_i}{4 \pi \cdot D x} \exp \left( - \frac{(y^2 + z^2) U}{4 D x} \right)$$

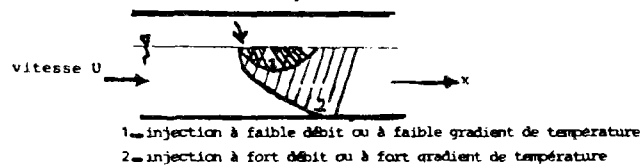
**Fig. 3** - Réduction du problème de 3 dimensions à 2 dimensions en considérant une diffusion dans une section transversale en mouvement - tiré de (43)



**Fig. 4** - Données du modèle de diffusion adapté à notre problème.



**Fig. 5** - Evolution des isothermes dues à un rejet thermique



Reste à choisir la valeur de la diffusivité thermique : D vaut  $14 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  pour l'eau à  $10^\circ\text{C}$  mais cette valeur n'est utilisable qu'en régime d'écoulement laminaire. En écoulement turbulent, la diffusivité thermique  $\epsilon_T$  peut être multipliée par plus de 100 à cause du tenseur de covariance entre les fluctuations de vitesse et de température.

Cependant, ce tenseur de covariance est prépondérant dans le cas des jets et panaches où champ des vitesses et champ des températures sont manifestement liés l'un à l'autre. Selon nos hypothèses, le champ des vitesses n'est pas influencé par le rejet et la diffusivité thermique turbulente est considérée comme comprise entre 1 et 10 fois la diffusivité thermique laminaire.

### III - Développement du modèle adopté

Nous considérons que la répartition de la chaleur (ou concentration) sur la verticale suit la loi dont l'allure générale est celle d'une courbe de Gauss.

L'équation générale de diffusion s'écrit :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} = \epsilon_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \epsilon_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \epsilon_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \lambda T$$

avec  $\lambda$  un coefficient de "disparition" s'agissant d'un produit diffusif non conservatif.

Du fait de la linéarité de cette équation, nous pouvons considérer que le champ de température au temps  $t_1$  est identique à celui qui résulterait d'une série d'injections

instantanées effectuées à chaque instant  $t$  entre 0 et  $t_1$ . En effectuant l'intégrale de convolution basée sur cette hypothèse, et en laissant  $t$  tendre vers l'infini, nous obtenons :

$$T_m = \frac{q \cdot T_r}{4 \cdot \pi \cdot D \cdot x} \exp \left( - \frac{(y^2 + z^2) U}{4 \cdot D \cdot x} \right) \quad (\lambda = 0)$$

$q$  = débit du rejet

$T_m$  = différence de température après mélange

$T_r$  = différence de température au rejet.

Cette formulation est applicable dans le cas d'un polluant chimique. Le paramètre utilisé pourrait être la conductivité ; nous obtenons alors :

$$C(x, y, z) = \frac{\dot{M}}{4 \cdot \pi \cdot D \cdot x} \exp \left( - \frac{(y^2 + z^2) U}{4 \cdot D \cdot x} - \lambda t \right)$$

$C(x, y, z)$  = concentration de la substance mesurée au point de coordonnées  $(x, y, z)$

$\dot{M}$  = débit de polluant injecté.

Le modèle utilisé est tridimensionnel. Cette approche à trois dimensions permet de dégager le mécanisme nous assurant une interprétation correcte des résultats dans le cadre des hypothèses précitées.

### III.1. Choix des paramètres du modèle

Les différentes simulations d'entrée d'eau de nappe sont faites à partir d'un modèle de diffusion gaussien à coefficient constant. La diffusion est donc supposée isotrope.

Cette approximation, quoique non rigoureuse, apparaît largement suffisante. Nous rappelons que le modèle développé est valable pour des rejets à températures différentes de la température de l'écoulement principal. Conformément aux hypothèses de base citées plus haut, il y a lieu de penser que le type de réponse est le même pour les 2 cas de figures et que le phénomène de stratification n'intervient pas. En effet, l'inertie verticale du rejet est en général assez faible devant l'inertie horizontale du milieu de telle sorte que le rejet se trouve balayé vers l'aval ; son vecteur tend rapidement vers celui du courant ambiant.

Dans le but d'un calcul de la zone d'influence du rejet, il est important de se fixer quelques valeurs afin d'apprécier la répartition théorique des températures et les longueurs de mélange. Il est clair que nous essayons de nous situer dans les conditions réelles d'entrées d'eaux de nappe dans un réseau d'assainissement urbain et pour cela, nous prenons comme :

- vitesse d'écoulement, une vitesse moyenne de 60 cm/s, la gamme courante de vitesse de l'eau dans les réseaux d'assainissement gravitaire varie de 40 à 100 cm/s suivant le type de réseau, la pente, la rugosité, etc ;
- coefficient de diffusion, un coefficient égal donc à  $14 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  qui correspond à la diffusivité thermique de l'eau [107]. Il est à remarquer que ce coefficient de diffusion de la chaleur est inférieur au coefficient de diffusion turbulente d'une substance chimique conservative [100]. La détermination de ce coefficient est difficile et dépend de la nature du fluide. Une des méthodes pour la détermination de ce coefficient de diffusion consiste en une superposition de courbes théoriques de répartition de température obtenues avec le modèle adapté aux courbes expérimentales ;

- rayon  $r$ , les valeurs moyennes de 5 cm et 10 cm. Ces valeurs correspondent à la position dans une section transversale de l'élément sensible par rapport à la source. Différentes valeurs sont prises pour nos simulations allant de 2 à 15 cm. Dans la réalité, cette distance peut être réglée empiriquement à l'aide de flotteurs fixés près du capteur ;
- débit d'infiltration, des débits allant de 0,5 à 2,5 l/s. Cette gamme de débits est vraisemblable. Pour se fixer une idée des ordres de grandeurs donnés, une injection d'eau à partir d'une bouche d'incendie peut fournir 17 l/s sur une durée de 2 heures ;
- différence de température entre le rejet et l'écoulement principal de 10°C au maximum, la différence de température moyenne se situe entre 3 et 5°C.

### III.2. Résultats des simulations

Deux courbes caractéristiques des phénomènes de rejet ressortent de nos simulations effectuées sur le VAX 11/750 de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Les deux graphiques représentent :

- d'une part, les différents isothermes constituant la tâche thermique
- d'autre part, les seuils de détection des eaux parasites.

#### III.2.1. Répartition des températures

L'intérêt de cette représentation des isothermes formées lors de rejets thermiques est important. En effet, en fonction des différents paramètres du modèle, nous tentons d'apprécier les longueurs de mélange pour des débits d'infiltration et des gradients de température variables.

Nous avons reproduit quelques courbes pour une visualisation du phénomène de mélange (annexes V, VI, VII et VIII).

Les courbes appelées "isothermes" suivent cette loi :

$$r = \left[ \frac{4 \cdot Dx}{U} \ln \left( \frac{q \cdot Tr}{Tm \cdot 4 \pi Dx} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Nous remarquons que l'influence du débit d'infiltration ou de la différence de température du rejet sur la forme des isothermes est identique.

Les résultats peuvent être résumés ainsi :

- \* L'influence du rejet sur la forme de la tâche thermique est principalement due à la valeur du débit d'infiltration
- \* La zone d'influence est sensiblement étendue quand il s'agit de rejets d'eau de refroidissement à forts gradients de température.

### III.2.2. Les limites de détection des rejets

Ces limites théoriques ne peuvent véritablement être appréciées que si l'on connaît de manière rigoureuse la position du capteur par rapport au point du rejet.

Pour différentes valeurs de ces 2 paramètres ("x" et "r"), nous avons simulé des entrées de nappe à débits et températures variables.

Bien entendu, les courbes obtenues sont des droites. Cependant, les résultats que nous tirons de ces droites nous permettent d'apprécier les limites théoriques de détection des eaux parasites pour différentes situations.

Nous donnons en annexe [VII] quelques courbes caractéristiques et les résultats théoriques obtenus pour différents seuils de détection.

#### IV - Interprétations des mesures in-situ

##### IV.1. Comptage de branchements de "particuliers"

Mises à part les éventuelles entrées franches d'eaux de nappe dans les réseaux de moins de 1000 habitants raccordés, l'interprétation des résultats des différentes auscultations de réseau doit tenir compte :

- du faible débit d'eaux usées drainé dans le réseau, donc de la faible hauteur d'eau. Pour des hauteurs d'eau inférieures à 6 cm, et en raison des dépôts dans les tuyaux, nous ne pouvons pas garantir une immersion permanente et complète du capteur. Les résultats des inspections peuvent comporter des points aigus de température traduisant des mesures de température hors d'eau ;
- de la fluctuation des débits due aux "pointes" de rejets. En effet, les réseaux de communes rurales sont courts et les rejets de "quartiers" (environ 15 maisons) sont des pointes comprises entre les pointes extrêmes.

Nous pouvons obtenir, suivant les points d'auscultation, des vagues de rejets thermiques assez importantes résultant de rejets de machines à laver, de bains, etc.

D'une manière générale, certaines auscultations de réseaux peuvent avoir pour objectif un repérage des branchements de "particuliers". Les résultats ne peuvent être garantis que si :

- les habitations rejettent des eaux usées lors du passage de la sonde. Plusieurs inspections du tronçon peuvent être nécessaires avant l'établissement d'un diagnostic final;
- nous tenons compte d'éventuelles vagues thermiques pouvant être détectées lors des inspections. Plusieurs essais peuvent être nécessaires pour éclaircir les résultats.

REMARQUE : exceptionnellement, des points de température peuvent apparaître à la suite de certaines auscultations. Ces résultats sont toujours expliqués par les régimes d'écoulement fortement "non permanent".

## IV.2. Détection des eaux parasites

### IV.2.1. Bilan de fonctionnement du réseau : inspection à poste fixe

#### IV.2.1.1. Hypothèses et définition

Dans le traitement des eaux usées, le débit diurne sert souvent pour le dimensionnement des ouvrages d'épuration. Ce débit traduit le passage à la station de 90% du flux de pollution en 16 heures. En fonction de l'importance de l'agglomération, ce temps de passage peut être réduit à 14 heures seulement.

En dehors de ces "14 heures de vie" du réseau, il est courant de déduire à partir du débit drainé dans le réseau, la proportion des eaux parasites captées par le réseau.

Une approche serait de suivre la température des eaux du réseau sur de longues périodes à différents "points sensibles" et d'établir ensuite un diagnostic de fonctionnement du réseau en fonction de l'amplitude de variation des températures.



#### IV.2.1.2. Résultats des inspections

Le suivi de la température en poste fixe a été effectué à la station de mesure des débits par ultrasons, située à Villemoisson (Orge). La conception de cette station de mesure de débit fait l'objet de la thèse de Mr. BOURGEOIS à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Les mesures de température obtenues sur les deux périodes de 48 heures et la période de 36 heures sont très intéressantes et suivent parfaitement les variations de débits mesurés à la station (annexe IX).

En raison de l'importance des débits transités (environ 300 l/s) et de la position de la station par rapport aux points de rejets, les réponses en température de la sonde sont de 0,1°C pour des variations de débits de 12 l/s. Toutefois, nous constatons une stabilité de la température sur des périodes continues de plus de 3 heures.

#### IV.2.1.3. Analyses des résultats

Moyennant certaines hypothèses simplificatrices justifiées par la stabilité en température des eaux de nappe et des rejets et par les débits d'infiltration supposés constants, le volume des eaux parasites peut être approximativement approché.

Ces calculs ne sont pas développés dans cette thèse. Néanmoins, les résultats obtenus pour cette application sont consignés dans la thèse de Mr. BOURGEOIS et donnent un débit d'eaux parasites de 120 l/s pour un total transité à la station de 320 l/s.

Cette application n'est justifiée que si l'on dispose en outre, dans un environnement proche du poste d'inspection, d'installations fixes de mesure continue du débit.

#### REMARQUE

Durant la deuxième campagne de mesures, s'est produit un orage. L'apport en "eau parasite" (pluviale) résultant est de 90 l/s alors que la température est restée constante. L'orage a eu lieu vers 6 heures du matin.

Cette stabilité de la température peut s'expliquer par la "fraicheur" des eaux de pluie. Nous remarquons cependant que la réponse en température des "rejets matinaux" est légèrement décalée dans le temps (Annexe IX). Pour un orage plus important, il est probable que la courbe de température résultante serait moins caractéristique des rejets urbains ; ces rejets seraient "noyés" par les eaux parasites.

#### IV.2.2. Recherche des eaux parasites

A partir des résultats obtenus lors des différentes auscultations, deux notions sont ressorties :

- la notion d'infiltration
- la notion de drainage.

Ces deux notions ont été vérifiées par le modèle développé précédemment. Les résultats obtenus sont fournis en annexe [ VI ].

Le critère fondamental distinguant ces deux notions est la longueur de mélange ou la zone d'influence du rejet.

- les zones d'influence de "faibles portées" (inférieures à 5 m) sont créées par des entrées d'eau parasites à débits moyens. Ces entrées sont appelées infiltrations et sont dues à des fissures de canalisation, etc. (annexe VI ).

- Au delà de 5 m, nous faisons appel à la notion de drainage. Les entrées d'eaux parasites à forts débits posent très souvent des problèmes graves. Le fonctionnement du réseau est alors perturbé (Annexe VI ).

#### REMARQUE

La plupart des entrées d'eaux parasites repérées lors des auscultations des réseaux sont importantes : l'interprétation des résultats est alors facile et catégorique.

Théoriquement, la détection des entrées d'eaux parasites a lieu systématiquement en aval du point de rejet. En réalité, sous certaines conditions de rejet et en présence de singularité dans le réseau, le régime de turbulence engendré favorise alors le mélange des eaux.

## V - Conclusion

L'approche mathématique du phénomène des entrées d'eaux parasites par un modèle tridimensionnel de diffusion turbulente est correcte et décrit bien les phénomènes jusqu'à là appréhendés par les mesures in-situ.

Les limites théoriques de détection des eaux parasites estimées par le modèle sont vraisemblables. Les différents essais effectués en région parisienne ont montré que les informations tirées des auscultations et des inspections de réseaux sont très intéressantes.

La stabilité de la température peut être garantie sur des biefs relativement longs, pour des régimes d'écoulement permanents. Ces régimes sont obtenus en aval d'agglomérations comptant plus de 1000 habitants raccordés au réseau.

Pour de petites communes ou zones à faibles densités de population raccordées au réseau, l'interprétation des résultats doit être plus critique et dans certains cas, des essais supplémentaires sont nécessaires pour éclaircir les éventuels doutes exprimés.



## Q U A T R I E M E P A R T I E

Auscultation des réseaux :  
Approche systémique des eaux parasites



## Avant-Propos

Les diagnostics des auscultations de réseaux effectuées avec l'Ichtyotherme sont établis en fonction de données générales sur la zone d'inspection, notamment la variabilité du niveau de la nappe phréatique sous-jacente.

Par conséquent, il est important de connaître les limites du système "réseaux d'assainissement - eaux parasites" et de se fixer ensuite les écarts significatifs de température ou de conductivité permettant d'interpréter son fonctionnement. Dans notre cas, le système "réseau d'assainissement - eau parasite" doit tenir compte du milieu récepteur, de la nappe, des industries, etc... (figure 6 ).

Dans cette partie, nous nous intéressons aux échanges extérieurs vers l'intérieur du réseau. Nous utilisons alors les notions d'infiltrations, de captage, d'intrusion et de rejets d'eaux claires.

Nous recommandons vivement aux futurs utilisateurs de collecter, dans la mesure du possible, des renseignements généraux sur les ouvrages qu'ils vont ausculter : cette quatrième partie fournit quelques exemples de renseignements susceptibles d'orienter l'interprétation des résultats.

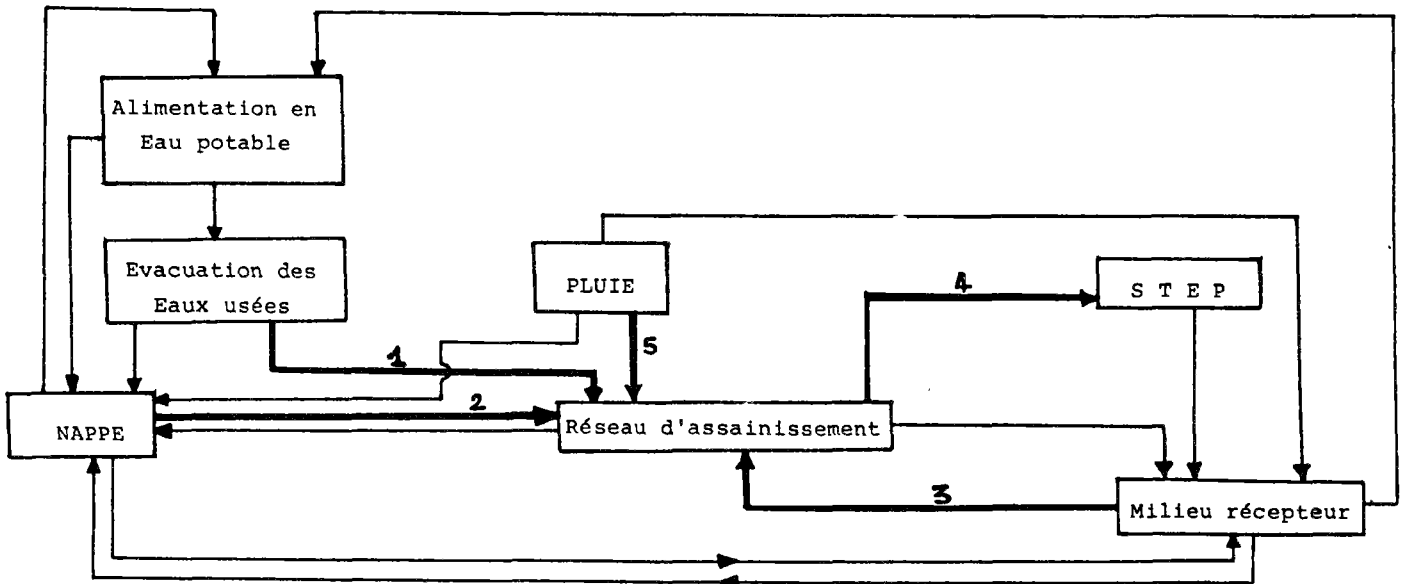


## I - Définition du système et choix des caractéristiques

C'est en terme de relations entre les différents éléments du système que nous abordons l'auscultation des réseaux. Dans notre cas, le système est constitué du réseau et des différents éléments en relation avec celui-ci (nappe).

Les figures 6 et 7 définissent le système et énumèrent les échanges qui sont étudiés dans cette thèse. Différentes variables pouvant influencer sur les mesures sont répertoriées.

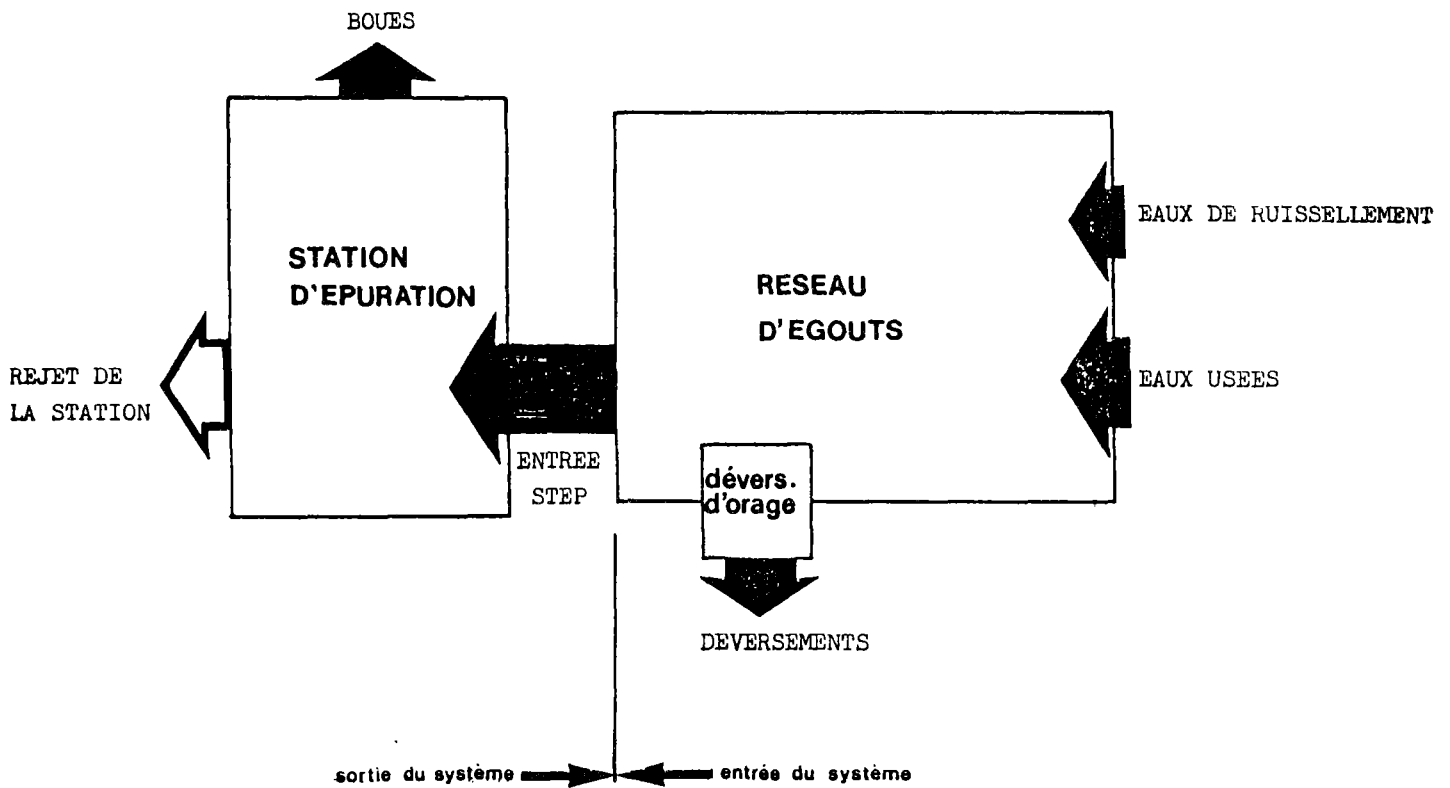
Ces relations ou échanges sont "évalués" à partir des mesures de température et de conductivité. Quelques données de température et de conductivité sont tirées de la littérature pour apprécier les limites de variations des mesures.



**Fig.6** - Approche systémique des eaux parasites

(seuls les échanges numérotés dans fig.1 sont étudiés dans cette recherche)

Fig 7. Modèle de flux du système d'assainissement



Tiré de (70)

## II - Les ouvrages

Dans un premier stade, seuls les réseaux séparatifs ont fait l'objet de nos investigations. Ces réseaux de faibles capacités disposent d'équipements leur permettant un meilleur fonctionnement. Nous citerons principalement les postes de relèvement et de refoulement, les bacs de dessalement, les chasses d'eau automatiques.

Certains de ces équipements peuvent être des moyens de contrôle du fonctionnement du réseau ; des zones ou secteurs à risques sont alors localisés à partir de simples contrôles visuels.

Ces réseaux et équipements sont classés dans la catégorie des variables de construction. Ces variables sont difficilement manipulables maintenant que la plupart des réseaux sont déjà posés. Nous n'analyserons pas les problèmes soulevés par ces variables mais nous devons noter que certains équipements peuvent être à l'origine d'interprétations erronées en l'absence d'une bonne connaissance des réseaux auscultés. Ainsi, un fonctionnement continu de chasses d'eau peut être interprété comme une entrée d'eau de nappe.

Les raccordements à ces réseaux sont multiples. L'origine des eaux collectées doit être établie à partir des mesures retenues. Il est donc nécessaire de récolter certains plans de réseaux et de vérifier le nombre de regards, les boîtes de branchement, etc. Des informations très précieuses peuvent apparaître au vu de ces plans.

### III - Les eaux collectées - Leurs caractéristiques

Les eaux collectées dans les réseaux d'assainissement proviennent :

- . des usages domestiques
- . des fuites d'eau potable
- . des industries
- . des eaux parasites

### III.1. La température

Nous concevons aisément que suivant les usages qu'on en fait, les eaux évacuées ont a priori des températures très fluctuantes. Cette variation, souvent importante, se trouve rapidement atténuée à l'entrée du réseau. Dans tous les cas, la température de ces eaux descend rarement en-dessous de 10°C et ne dépasse pas les 30°C au point du rejet. Ces rejets sont ponctuels et se situent soit aux regards de visite, soit à l'intérieur du réseau par l'intermédiaire de culottes de branchement. Dans ce dernier cas, nous parlons de regard borgne ; l'accès est souvent difficile.

La température des eaux rejetées suit fortement la température des eaux d'alimentation.

Les débits d'eaux brutes à l'entrée de la STEP ainsi que la pluviométrie sont présentés à la figure 8

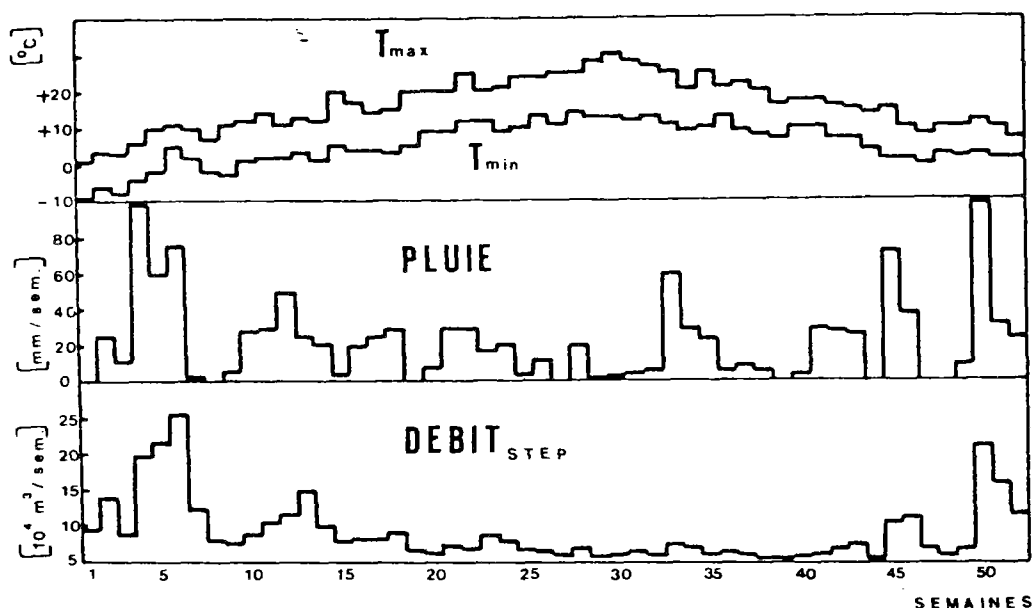


Fig.8 - Températures, pluies et débits d'entrée de la STEP en 1979 tiré de (70)

Réseau séparatif à près de 70 % (commune de Morges : canton de Vaud, Suisse)

### III.2. La conductivité

La conductivité des eaux domestiques évacuées dépend fortement de celle des eaux d'alimentation. Par ailleurs, ces eaux accusent des sauts de conductivité importants en fonction des usages qu'on en fait.

En règle générale, la valeur guide du paramètre conductivité dans l'alimentation en eau potable est de  $400 \mu\text{Scm}^{-1}$  à  $20^{\circ}\text{C}$  (directive CEE du 15.07.80). La moyenne des valeurs observées, sur des échantillons moyens journaliers, de la conductivité des eaux usées domestiques est de  $1186 \pm 265 \mu\text{Scm}^{-1}$  [ 31 ].

Dans l'industrie, la moyenne de la conductivité des eaux doit être évaluée en fonction du type d'industrie (chimique, agroalimentaire, etc.). Il importe donc de bien connaître les différents types d'industries raccordées au réseau et d'interpréter les mesures en tenant compte de leur fonctionnement.

L'ensemble des rejets peuvent être classés dans la catégorie des variables d'exploitation. Ces variables sont facilement manipulables et doivent être maîtrisées.

Par ailleurs, nous observons que la température moyenne des eaux évacuées (figure 8) suit approximativement la température de l'air. Nous expliquons ces observations par l'influence de la climatologie sur la température des eaux des nappes et rivières, et par la réduction de certaines eaux parasites.

#### IV - La géotechnique et la topographie

Les réseaux d'assainissement ont une caractéristique commune : ils se trouvent dans le sol à des profondeurs variables. Les tranchées dans lesquelles ils se trouvent fonctionnent en véritables drains. En fonction de la structure des remblais, les vitesses de déplacement des eaux de la nappe se trouvent modifiées et sont à l'origine d'anomalies de terrain. En outre, une augmentation de la vitesse d'écoulement des eaux de la nappe favorise les échanges thermiques.

Seuls quelques réseaux sont situés dans la nappe phréatique. C'est vers ce type de réseaux que nous dirigeons nos recherches ; les autres réseaux, en permanence hors de la nappe, sont à l'abri des drainages et infiltrations d'eaux de nappe.

Des connaissances topographiques, géologiques et hydro-géologiques sont utiles pour localiser les "zones à risques". Le niveau de la nappe n'étant pas uniforme dans tout le bassin, des cartes faisant ressortir les zones basses et les pentes naturelles du terrain contribuent à une meilleure localisation des points sensibles.

Le réseau étant constitué d'un ensemble de tuyaux de longueur constante égale à 6 m, il est sûr que chaque jonction constitue une source potentielle d'entrée d'eaux de nappe. En outre, la réalisation des branchements au fur et à mesure des besoins vient perturber cette maîtrise que l'on pourrait escompter des canalisations principales.

## V - L'hydrologie et l'hydrogéologie

Ces deux systèmes constituent à eux seuls l'essentiel de l'alimentation en eau potable des agglomérations urbaines.

### V.1. La nappe phréatique

Nous nous intéressons principalement aux nappes superficielles tout en essayant de connaître les domaines de variations des caractéristiques retenues.

#### V.1.1. La température

Des travaux réalisés par R. MICHEL, 1958 [83] soulignent la constance de la température des nappes aquifères profondes tandis que les valeurs constatées des nappes superficielles se révèlent fluctuantes. Il a été montré que les écarts les plus élevés et les plus généralisés se produisent au printemps et en automne. Cela semble indiquer que les pluies relativement chaudes de la fin de l'été et du début de l'automne et surtout la fonte des neiges au printemps ont une répercussion capable de se prolonger dans le temps.

Nous concluons donc que la température des nappes varie et ne fournit pas toujours un critère automatique de valeur à utiliser sans discernement. Il est sûr que ces variations sont faibles et dépendent de l'alimentation des nappes.

En règle générale, la valeur moyenne de la température se situe autour de 6°C en hiver pour monter à 13°C en plein été.

### V.1.2. La conductivité

La conductivité des eaux de nappe dépend fortement des terrains traversés. La valeur de ce paramètre est généralement connue à l'intérieur d'un bassin versant et peut varier de 200 à 16.000  $\mu\text{S/cm}$  [16]. Il convient donc de tenir compte de la valeur de ce paramètre à chaque auscultation de réseau par conductimétrie.

### V.2. Les rivières

Dans beaucoup de cas, la rivière impose son niveau à la nappe.

- du point de vue thermique, les échanges rivière-nappe peuvent influencer la température de la nappe. Nous citerons les variations thermiques absolues de la température de l'eau de Seine de 15°C sur la période (mai-novembre) alors que celle de la nappe est de 6°C ; le déphasage entre les maximum de température est de un mois [83].

- La conductivité des eaux de rivières varie en fonction des différents apports ponctuels et diffus. Cette mesure, peu utilisée, peut nous renseigner sur l'"activité" de la rivière.

## VI - Les industries

Les quantités d'eaux utilisées par les différentes industries sont très souvent directement rejetées dans le réseau.



Certaines valeurs de la conductivité des eaux, connues par ailleurs lors d'études antérieures, peuvent servir à déterminer le type d'industries raccordées et par là même à déduire les cycles de fonctionnement journaliers de ces industries. Dans certaines conditions, l'auscultation de réseaux par conductivité permettra de contrôler des rejets "sauvages", très difficilement repérés. Les variations de conductivité suivent approximativement les variations de la concentration de l'effluent et peuvent renseigner rapidement sur la répartition des flux polluants dans la journée.

## VII - Classification des eaux parasites

### VII.1. Caractéristiques des variations des débits

Nous distinguons les variations journalières, les variations hebdomadaires, les variations annuelles et celles dûes aux précipitations.

Certaines variations semblent être aléatoires bien que l'on puisse, dans certains cas, expliquer la pointe du lundi par le jour de lessive traditionnel.

### VII.2. Définition des mots infiltrations et captages

Le terme infiltration fait référence aux eaux parasites d'origine souterraine pénétrant dans les conduites par l'entremise de défauts au niveau des joints, des regards, etc. Les captages sont des eaux parasites canalisées en permanence ou de façon intermittente dans des réseaux, suite à diverses pratiques comme par exemple : raccordement des drains français, des drains de toits, etc. [58].

### VII.3. Temps de réponse

Cette variable sert à distinguer les apports "aléatoires" dont la variabilité est directement liée aux précipitations (temps de réponse  $\leq 1$  heure) des apports permanents ou pseudo-permanents ayant un temps de réponse variable.

### VIII - Conclusion

Nous avons abordé l'analyse des eaux parasites à partir de deux caractéristiques : la température et la conductivité. Cette façon d'aborder l'auscultation des réseaux et la surveillance de la qualité des eaux drainées dans ces réseaux impose le recours à des équipes multidisciplinaires. Il faut ajouter que le problème doit être important et l'objectif clairement défini pour fixer des seuils de prise en considération et diagnostiquer de manière claire et précise le fonctionnement des réseaux :

- l'étanchéité absolue des réseaux existants n'étant pas possible, les américains considèrent qu'en cas d'infiltration diffuse affectant l'ensemble du réseau, et inférieure à 1500 l/j/cm de diamètre/Km de canalisation, il est plus économique de prendre en compte les eaux parasites dans le dimensionnement des ouvrages d'épuration [85]

- Il a été constaté que les apports d'eaux parasites étaient souvent 2 à 4 fois supérieurs aux débits attendus (quantités distribuées) [17], [88].



## CONCLUSION GENERALE



## CONCLUSION GENERALE

Nous avons réalisé une sonde de mesure autonome qui permet d'ausculter des réseaux d'assainissement non visitables. Cette sonde de mesure baptisée Ichtyotherme, est insérée dans une chaîne conçue pour des interventions diverses. Cet ensemble comporte :

- une sonde autonome munie de deux capteurs pour l'auscultation de réseaux par conductimétrie ou thermométrie à différentes cadences de mesure
- un microordinateur permettant de commander le démarrage de l'auscultation et l'acquisition des données ; une bibliothèque de sous-programmes est disponible à l'opérateur pour le traitement des données
- un comptage de distance donnant la position en temps réel de la sonde dans le réseau.

Cette chaîne de mesure et les méthodes de traitement ont été testées avec succès dans les réseaux séparatifs en région parisienne. Les résultats des différentes auscultations permettent de déceler :

- une stabilité de la température en poste fixe ( $< 0,1^{\circ}\text{C}$ ) sur des périodes dépassant les 4 heures
- une stabilité de la température ( $< 0,1^{\circ}\text{C}$ ) sur des biefs de 100 m ne recevant pas d'eau parasite et ne comportant aucun branchement
- une réponse en température à toute intrusion d'eau émanant de nappes ou de branchements.

Ces réponses, méconnues par le passé, fournissent un élément nouveau dans la connaissance des eaux usées drainées dans les réseaux d'assainissement grâce à la fiabilité des mesures.

Les phénomènes de rejets thermiques dans un écoulement stationnaire sont étudiés à l'aide d'un modèle tridimensionnel de diffusion Gaussienne. Les résultats obtenus par ce modèle concordent avec les différents types de réponses obtenus lors d'auscultations de réseaux (branchement, drainage de nappe, infiltrations). Cette approche mathématique des rejets thermiques nous a permis de simuler des entrées de nappe dans le réseau : des limites théoriques de détection de ces entrées sont ainsi calculées.

Lors des essais sur le terrain et au vu des résultats acquis, nous avons fourni quelques données indispensables pour évaluer la détection des eaux parasites, ce qui nous a permis d'appréhender le système "eau parasite - réseau d'assainissement" dans son ensemble.

## BIBLIOGRAPHIE





## B I B L I O G R A P H I E

- 1 - G. ASCH - Les capteurs en instrumentation industrielle -  
Dunod, 1982
- 2 - J.D. BALADES - M. LIVET - J. LUCAS, J.P. PHILIPPE - J. PITOT  
Matériels pour l'auscultation des réseaux d'assainissement  
Bulletins de liaison des Ponts, 124, mars-avril 1983 ,  
pp 65-82
- 3 - D. BALLAY - J.P. LEBREF  
Caractéristiques des effluents des communes rurales  
T.S.M., Juin 1974, pp 301-307
- 4 - M. BARBONNAUT - E. RIEUTORD  
Contribution à l'étude de la diffusion en canal pour un régime  
turbulent stationnaire  
La Houille Blanche, N°1, 1970
- 5 - J. BEBIN - J.C. Jacquart  
Traitement tertiaires des eaux résiduaires  
Cours ENSP, 1978
- 6 - J.P. BENNETON, J. LUCAS, J. PITOT, J. RAUCHET, D. RENARD  
Une forme d'auscultation des réseaux d'assainissement : la  
recherche des eaux parasites  
Bulletin de liaison des Ponts, n°120, Juillet-Août 1982
- 7 - P. BENOIT, E. DERANSART  
Les mesures physico-chimiques dans l'industrie  
Technique et Documentation, 1976
- 8 - J.M. BERGUE  
Etude et Diagnostic des réseaux d'assainissement  
Ville de Carenton (50)

- 9 - L.V. BERTALANFFY  
Théorie générale des systèmes  
Dunod, Paris 1973
- 10 - Y. BIHAN , R. BOURRIER  
L'informatique pour la conception et la gestion des réseaux  
d'assainissement  
Le Moniteur, 22 juillet 1983, pp 55-58
- 11 - M. BIZOUARD  
Appareil d'enregistrement, de conductivité et de la température  
Revue Générale d'Electricité 77, 1968, pp 697-701
- 12 - P. BOUTIN, J.P. BECHAC  
Le traitement des eaux usées  
ENSP Rennes, 1977
- 13 - G. BREBION, CHEVEREAU  
Application des modèles mathématiques de pollution  
Rapport IRCHA - SOGREAH, Novembre 1971
- 14 - P. BROUZES  
Précis d'Epuration biologique  
Technique et Documentation, 1973
- 15 - J. BRUSCHIN, O. BELKALOUL  
Rejet d'eau de refroidissement dans le Rhône à Verbois (canton  
de Genève)  
Revue Ingénieurs et architectes Suisses, mars 1980, pp 61-65
- 16 - Bulletin du Centre d'Hydrogéologie  
Rapports N°2, 1978 et N°3, 1979, Université de Neuchatel
- 17 - G. BURBAN  
Une expérience de réparation de réseau d'assainissement  
Revue Génie Rural, N°12, pp 39-43

18 - M. CATHELAIN

Méthodes de contrôle de la pollution des eaux - Utilisation  
des électrodes spécifiques

Rapport de Recherche N°57, LCPC, 1976

19 - CEMAGREF

Caractéristiques des Eaux résiduelles d'abattoirs

Informations Techniques, cahier 42, N°6, Juin 1981

20 - CEMAGREF

Les principales méthodes électroniques

Rapport CEMAGREF, 1981

21 - C. CHARETTE - J. HERBINEAUX

Le traitement des eaux usées à basses températures

Eau du Québec, vol 11, N°2, Avril 1978

22 - P. CHATWIN

The approach to normality of the concentration of a solute  
in a solvent flowing along a straight pipe

J. Fluid Mechanical 43, 1981, pp 321-352

23 - N.P. CHERETMISINOFF

Mesures de débit des eaux usées industrielles

Eau du Québec, vol 14, N°3, août 1981

24 - R. CHEVRAY

Sur quelques problèmes relatifs aux transferts thermiques  
en écoulements turbulents

Thèse D. D'Etat, Univ. Claude Bernard Lyon, 1979

25 - CHIN - LIEN - YEN

Decay of Peak Concentration in uniform flow with finite dura-  
tions of Injection

I.A.H.R., 1973

- 26 - J.W. CLARK, W. VIESSMAN  
Water Supply and Pollution Control  
Third Edition IEP, 1978
- 27 - P.V. DE LA CLERGERIE  
Etude sur la conformité des rejets à l'égout  
SLEE - RPS, 1977
- 28 - M. COANTIC  
Contribution à l'étude théorique et expérimentale de l'écoulement turbulent dans un tube circulaire  
Public. Scientif. et Techniques 1962, N°113
- 29 - J. CRANK  
Conduction of Heat in Solids  
Oxford Univ. Press, 1975
- 30 - G. CORRIEU - J.P. TOUZEL  
Comparaison de sonde de mesure de la concentration en oxygène dissous - essais au laboratoire  
TSM, Juin 1978, pp 349
- 31 - CTGREF  
Caractéristiques des effluents des communes rurales  
Note technique N°5, Décembre 1973
- 32 - R. DAMAYE - C. GAGNE  
Alimentations électroniques - Théories et Pratique  
Editions de la Radio, 1982
- 33 - J. DARTOIS  
Elaboration d'un programme de caractérisation des eaux usées  
Eau du Québec, vol 15, N°4, Novembre 1982, pp 417-419
- 34 - M. DESJARDINS  
Les capteurs de mesure  
La documentation Française, 1975

- 35 - J.C. DEUTSCH  
Problématique du choix d'un réseau d'assainissement  
TSM, 1979, pp 23-32
  
- 36 - W. DOBBINS  
Diffusion and mixing  
Boston Society Civil Engineers, Tome 52, N°2, 1965
  
- 37 - J. DUBOIS, P. LUTZ, M. COQUELET  
Problèmes posés par la mesure automatique en milieu naturel  
S.H.F. Nantes, Septembre 1982
  
- 38 - A. DU QUAY  
Automatisation par ordinateurs  
Thèse Montpellier, 1974
  
- 39 - ENPC - Formation Continue  
Conception des réseaux d'assainissement - Mesures et Analyses  
Mars et Décembre 1982, Paris
  
- 40 - ENPC - Formation continue  
L'exploitation des réseaux d'assainissement  
Toulouse, Juin 1982
  
- 41 - G. FACY - J. FONTAINE  
Les automates programmables par les automatismes et les  
télétransmissions  
TSM, Juillet 1982, pp 359-368
  
- 42 - Y. FAES  
Commande de processus industriels par calculateurs  
Editions Massous, 1982
  
- 43 - Hugo B. FISCHER, E. JOHN  
Mixing in Inland and Coastal Waters  
Academic Press 1979

- 44 - E. FISCHER - C.W. JENSEN  
PET and the IEEE 488 Bus [GPIB]  
Osborne, Berkeley, 1980
  
- 45 - J.C. GLASCARD  
Définition et détermination de la salinité de l'eau de mer.  
Présentation de la Bathysonde  
Thèse 3ème cycle, Fac. des Sciences Paris, 1969
  
- 46 - E. GLEASON GARCIA  
Modélisation d'une STEP biologique des eaux à l'oxygène  
Thèse D.I., Institut Polytechnique Grenoble 1978
  
- 47 - J. HARRINGTON  
Application de l'analyse des systèmes en génie écologique  
M.I.T., 1968
  
- 48 - J.C. HEMAIN  
Etude bibliographique des modèles de qualité des eaux  
drainées par les réseaux d'assainissement urbains  
L.H.M., Montpellier 1979
  
- 49 - Hewlett PAC KARD  
Programmation du HP85 - Interface GPI0  
Documents HP, 1981
  
- 50 - M. HUG  
Mécanique des fluides appliquée  
Eyrolles Paris 1975
  
- 51 - E. JACQUET-LAGREZE  
Description d'un processus de décision - Extension d'une  
STEP, LAMSADE, N°21, octobre 1978
  
- 52 - J.C. JAEGER - H.S. CARSLAW  
Conduction of Heat in Solids  
Oxford Univ. Press, 1959

- 53 - Ph. JAVET - W. CAPREZ  
Phénomènes de transfert  
E.P.F.L. - 1980
- 54 - P.H. JOHN - F.A. JOHNSON - P. SUTCLIFFE  
A conductivity flow meter  
Journal Hydraulic Research, 14, 1, 1976, pp 37-44
- 55 - P. KOCH  
Les réseaux d'égouts - Données d'établissement et de calcul  
Dunod 1967, Paris
- 56 - M.L. LAMELOISE  
Mise au point d'un appareil de mesure de la distribution  
des temps de séjour dans des réacteurs de génie agro-  
alimentaire  
Thèse D.I., E.N.S. Mines Paris, 1982
- 57 - M. LECLERC  
L'épuration des eaux usées  
Revue Génie Rural, Novembre-Décembre 1977, pp 47-50
- 58 - R. LECLERC  
Evaluation, Rehabilitation et Construction des réseaux  
d'égouts  
AQTE, 2ème colloque drainage urbain, Mars 1979
- 59 - E. LEDOUX  
Evolution de la température de l'eau dans un puits au cours  
d'un pompage d'essais  
E.N.S. Mines Paris 1973, 12 p.
- 60 - H. LILEN  
Du microprocesseur au microordinateur  
Editions Radio, 1976
- 61 - H. LILEN  
Interfaces pour microprocesseurs et microordinateurs  
Editions Radio, 1981



- 62 - C. LOURGEAU - B. ESPIAU  
Les automates programmables industriels  
Dunod Bordas 1979
- 63 - J.C. LUGOL  
Couplage d'un calculateur en temps réel à un ensemble expérimental de détection  
Thèse D.I., 1967, N°53
- 64 - M. MAES  
Les stations d'épuration : comment les faire marcher ?  
L'Industrie du Pétrole Juin 1974 - N°451, pp 15-25
- 65 - M. MAES  
Consignes d'Exploitation des stations d'Epuration des eaux usées : traitements biologiques  
APAVE, N°186, Avril-Mai-Juin 1974, pp 79-94
- 66 - C.J. MAESTRE  
A propos de la notion de réseau  
Publications LAMSADE, 1979
- 67 - F. MAHIEUX  
INNOVATION et Marketing  
Revue française de Gestion, novembre-décembre 1976
- 68 - F. MAHIEUX  
Le "système" de l'innovation  
Revue d'Economie politique n°3, mai-juin 1975
- 69 - G. MATORE  
Cours élémentaire d'électronique  
Editions Radio, 1978
- 70 - Y.L. MAYSTRE  
Théorie de l'Epuration des eaux  
E.P.F.L. - I.G.E., 1976

- 71 - J.P. MEINADIER  
Structure et Fonctionnement des ordinateurs  
Larousse, 1971
- 72 - W.D. MEREDITH  
Minimising automatic control problems on waste water treatment plants  
Tribune CEBEDEAU, N°436, 33, pp 115-120, 1980
- 73 - G. MILAZZO  
Electrochimie - Bases théoriques - Applications analytiques  
Tome 1, Dunod Paris 1969, 426 p
- 74 - A. MUSY  
Contribution à l'étude par simulation des écoulements souterrains en milieu poreux  
Thèse EPFL, 1974
- 75 - National Semiconductor  
Ram I/O - Document NS, 1977
- 76 - A. NIETO - F. PAUL  
Mesure des températures  
Editions Radio Paris - 1975
- 77 - V. NOVOTNY - PA. KRENKEL  
Simplified mathematical model of temperature changes in rivers  
JWPCF vol 45, N°2, February 1973, pp 240-248
- 78 - H. NUSSBAUMER  
Conduite de processus  
EPFL - Octobre 1981
- 79 - G. OLSSON  
Automatic control in waste water treatment plant  
Tribune CEBEDEAU, N°436, 33, 1980, pp 121-130

- 80 - A. OSBORNE  
Initiation aux microordinateurs Niveau 2  
Editions Radio, 1980
- 81 - R. PEREZ  
Contribution à l'étude de la diffusion saline en régime  
turbulent en canal  
Application à la mesure des débits  
Bulletin de Centre de Recherches et d'Essais de Châtou,  
Mars 1963
- 82 - J. PERRIERES  
Les pollutions industrielles et les eaux parasites en réseau  
d'assainissement  
Journée ACIM - 13 janvier 1982
- 83 - J. PETERLONGO  
Les températures des Sources en Puy-de-Dôme et dans la  
Creuse  
Annales Fac. Sciences Clermont-Ferrand N°26, pp 181-191
- 84 - B. PETUSSEAU  
La recirculation des boues activées dans un système biologique  
La Technique de l'Eau N°435/436, mars-avril 1983
- 85 - J. PICARD - J.P. RIDEAU  
Pathologie et réhabilitation des réseaux d'assainissement  
TSM Juillet 1982
- 86 - M. PIERMONT  
Mesures numériques - Principes - Pratique - Réalisations  
Editions Radio 1976
- 87 - A. PIOT  
Nature et origine des défaillances des réseaux d'assainissement  
TSM, N°7, juillet 1982

- 88 - M. POMMERON  
Etude du réseau d'assainissement de la Ville de Pithiviers  
(Loiret)  
AFBSN, 1981
- 89 - A. PORCHET  
Problèmes d'exploitation et d'entretien d'un réseau d'eaux  
usées  
Vevey - Montreux, Suisse 1979
- 90 - F. PRUVOT  
Automates programmables et systèmes hiérarchisés  
Tafung der SGA - INELTEC - 1977, Bâle
- 91 - F. PRUVOT  
Introduction aux automates industriels  
EPFL 1982
- 92 - J.G. RICHARD  
Etude des profils de température dans un écoulement turbu-  
lent établi dans un tube cylindrique  
EDF, 1, (2), 1972
- 93 - M. ROBIN - Th. MAURIN  
Interfaçage des microprocesseurs  
DUNOD 1979
- 94 - J.C. ROCHAT  
Mathématiques pour la gestion de l'environnement  
Birkhäuser, 1980, Suisse
- 95 - E. ROCHE  
Dimensionnement des réseaux d'assainissement  
ENITRTS, 1977
- 96 - M.A.SAAD  
Thermodynamics for Engineers  
Prentice-Hall, London 1966

97 - G. SAULUN - PENQUER

Etude théorique et expérimentale de la diffusion d'un rejet continu au sein d'un écoulement turbulent s'effectuant dans un canal hydraulique ouvert

Thèse univ. Aix-Marseille, 1976

98 - B. SAMSON

La gestion efficiente des eaux passe par la réduction des débits

Eau du Québec vol 14, N°4, novembre 1981, pp 353-358

99 - J. SANQUER

Encombrement hydraulique des ouvrages - Difficultés de transport en assainissement collectif

L'eau et l'Industrie N°38, Oct. 1979, pp 81-83

100 - L. TACCOEN

Contribution à l'Etude de la diffusion turbulente de la chaleur dans un tube cylindrique circulaire lisse

EDF, série A, N°3, 1967, pp 5-96

101 - Techniques de l'Ingénieur

Série Mesures et Contrôle

102 - T.S.M.

Recommandations pour l'élaboration des projets de STEP de petites et moyennes collectivités publiques

TSM, juin 1970, pp 257-265

103 - M. TISSIER

L'Assainissement en France : bilan et critique

Sciences et Techniques N°95, Juin-Juillet 1983

104 - J.M. VERRETTE

Comparaison des effets de diffusion superficielle sur modèle réduit et dans le fleuve St-Laurent

I.A.H.R., 1973

- 105 - A. VICQ - C. VIGNOLLES - J.L. HELARY  
Problèmes divers d'exploitation des réseaux d'assainissement  
S.H.F. Nantes - Septembre 1982
- 106 - P. WOLKART  
Calcul hydraulique de canalisations en pente partiellement remplies  
Gas WASSER ABWASSER Suisse 1978, N°11, pp 658-667
- 107 - J.F. SACADURA  
Initiation aux transferts thermiques  
Techniques et Documentation - Paris 1978
- 108 - J. NORMAN - MC CORMICK  
Rehability and Risk Analysis  
Academic Press - 1981



## ANNEXES





## LE DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES

## DES MACHINES

## ● Le « mouchard » des égouts

**C**ONTRAIREMENT à ce qu'on pourrait croire, les eaux d'égout sont d'autant plus faciles à traiter qu'elles sont plus « sales ». Plus les eaux usées sont concentrées, mieux les stations d'épuration peuvent opérer. Il est donc important que les réseaux d'assainissement soient étanches, non seulement pour éviter la dispersion d'effluents polluants dans le sol, mais surtout pour empêcher l'infiltration d'eaux parasites dans les canalisations, ce qui entraîne une surcharge en débit pour les stations d'épuration.

Or les conduites d'égout, généralement placées à 2 mètres de profondeur, traversent souvent des nappes phréatiques. A la moindre fissure ou craquelure, cette nappe s'infiltre dans le réseau d'assainissement, chargeant inutilement en eau « propre » des canalisations réservées aux eaux usées. Mais comment déceler ces fuites lorsque l'égout n'est pas visitable (impraticable à l'homme) ? La technique la plus couramment utilisée reste l'exploration des conduites par une caméra de télévision montée sur un petit chariot électrique. Mais cela suppose plusieurs opérations préalables : bouchage ou dérivation de la conduite, curage de l'égout, etc. L'ensemble des travaux préparatoires et l'exploration elle-même prennent du temps et coûtent cher. Et cette technique ne permet pas toujours de repérer les « petites » fuites, qui passent inaperçues à l'écran.

Des ingénieurs d'une société filiale de la Lyonnaise des Eaux (1) ont résolu le problème, grâce à un appareil baptisé pompeusement *lchtyotherme* (le poisson thermique), très simple dans son principe : il s'agit d'un thermomètre

enregistreur qui note très précisément les variations de température dans les eaux d'égout où on le plonge. On s'est aperçu que, dans un réseau d'assainissement enterré, les eaux usées ont une température à peu près constante, pour une section de conduite donnée. Si donc l'on peut enregistrer des variations de température en déplaçant le thermomètre le long de la conduite, c'est qu'il y a infiltration d'eau de nappe (plus froide) ou branchement sur le réseau de tout-à-l'égout (eaux plus chaudes).

L'*lchtyotherme* se présente sous la forme d'un obus de 40 cm de long en acier inoxydable, qui contient une mémoire électronique capable d'enregistrer deux cent cinquante-six valeurs de température avec une résolution supérieure au dixième de degré. L'obus est muni d'un bras articulé au bout duquel se trouve le thermomètre, soutenu par un flotteur. Le tout est tracté dans la conduite par un câble, actionné à la main à l'aide d'un treuil muni d'un compte-tours. Pas de chariot, pas de projecteurs, pas de câbles électriques. Le « mouchard » à fuites fonctionne sur batterie autonome. Il ne restitue les mesures qu'il a enregistrées qu'après sa remontée de l'égout, lorsqu'on le branche sur un ordinateur. Grâce à cet ingénieux bricolage, l'exploration d'une conduite coûte deux à trois fois moins cher qu'avec une caméra de télévision, et sans gêner le fonctionnement du réseau.

ROGER CANS.

(1) Latéram S.A., 7, chemin du Halage, 78290, Croissy-sur-Seine. Tél. : (3) 976-61-58.

## ANNEXE I BIS

### Caractéristiques techniques de l'Ichtyotherme

APPAREIL : SONDE THERMOMETRIQUE D'AUSCULTATION DE RESEAU

#### SONDE

Encombrement	diamètre . . . . .	101 mm
	longueur - conteneur seul . . . . .	42 cm
	- conteneur+tige . . . . .	80 cm
Réseau inspecté	diamètre minimum canalisation . . .	200 mm
	diamètre minimum regard . . . . .	500 mm
Capteur	gamme de mesure . . . . .	-25 à 100°C
	résolution . . . . .	0,1°C
	temps de réponse . . . . .	4 s
Module électronique	3 gammes programmables . . . . .	0 - 20°C
	par calculateur . . . . .	15 - 35°C
		30 - 55°C
	Résolution . . . . .	0,1°C
	Précision absolue . . . . .	< 0.5°C
	Capacité de stockage . . . . .	256 mesures
	Cadence de mesure programmable	4,8,16,32,64,
	par switch . . . . .	128, 256 et 512 s.
	autonomie : plusieurs jours (accus rechargeables),	
	(supérieure à la saturation de la capacité sur	
	la cadence maximale de 512 s).	

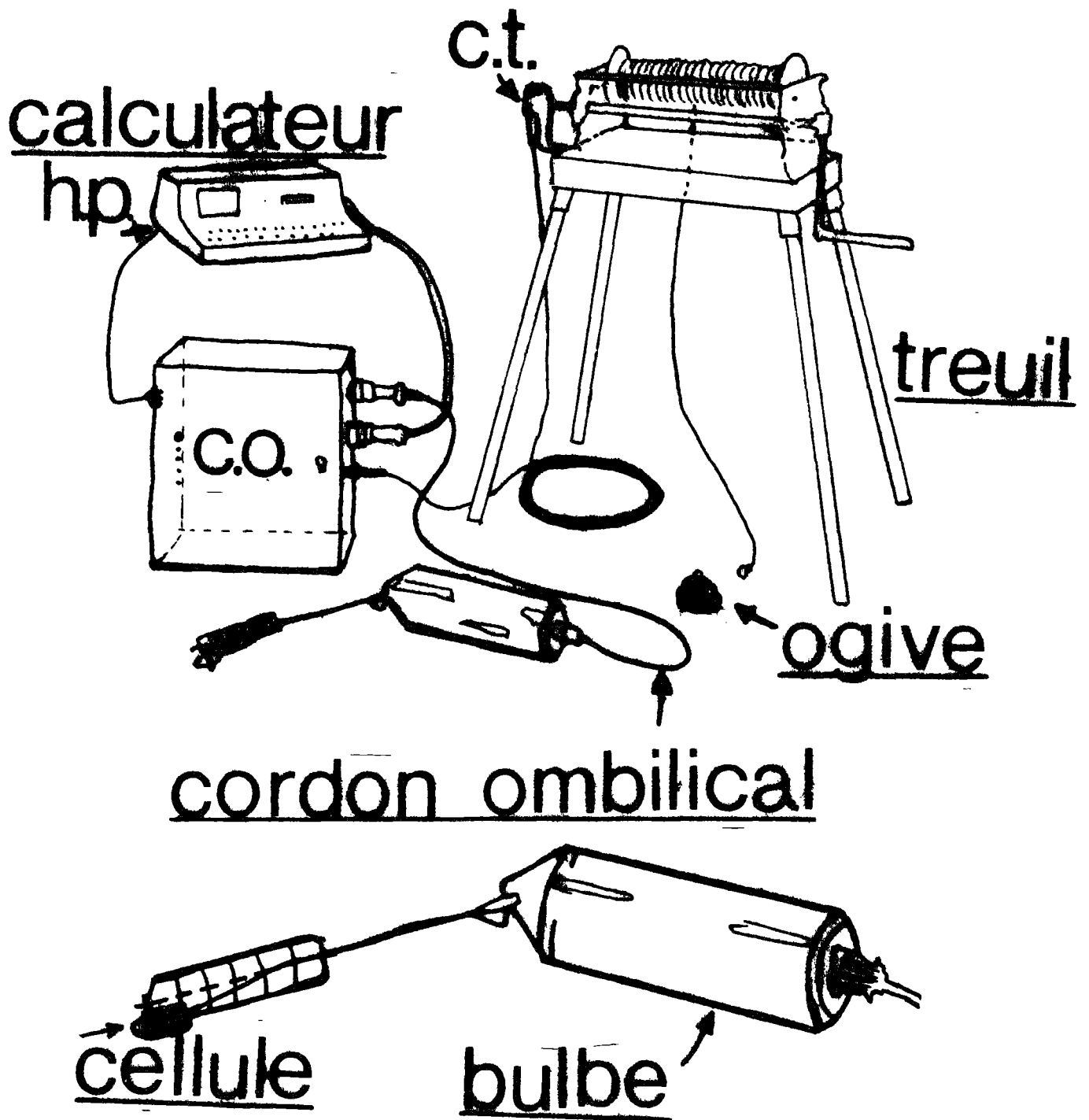
#### CALCULATEUR

16 Koctets RAM  
Ecran graphique  
Imprimante graphique  
Archivage des données sur cassettes  
Autonomie sur onduleur 120 VA de 3 heures  
Langage de programmation : BASIC  
Commandes par touche de fonction  
Sorties graphiques       $\begin{cases} T = f \text{ (tps)} \\ T = f \text{ (L)} \end{cases}$

#### COMPTAGE DISTANCE

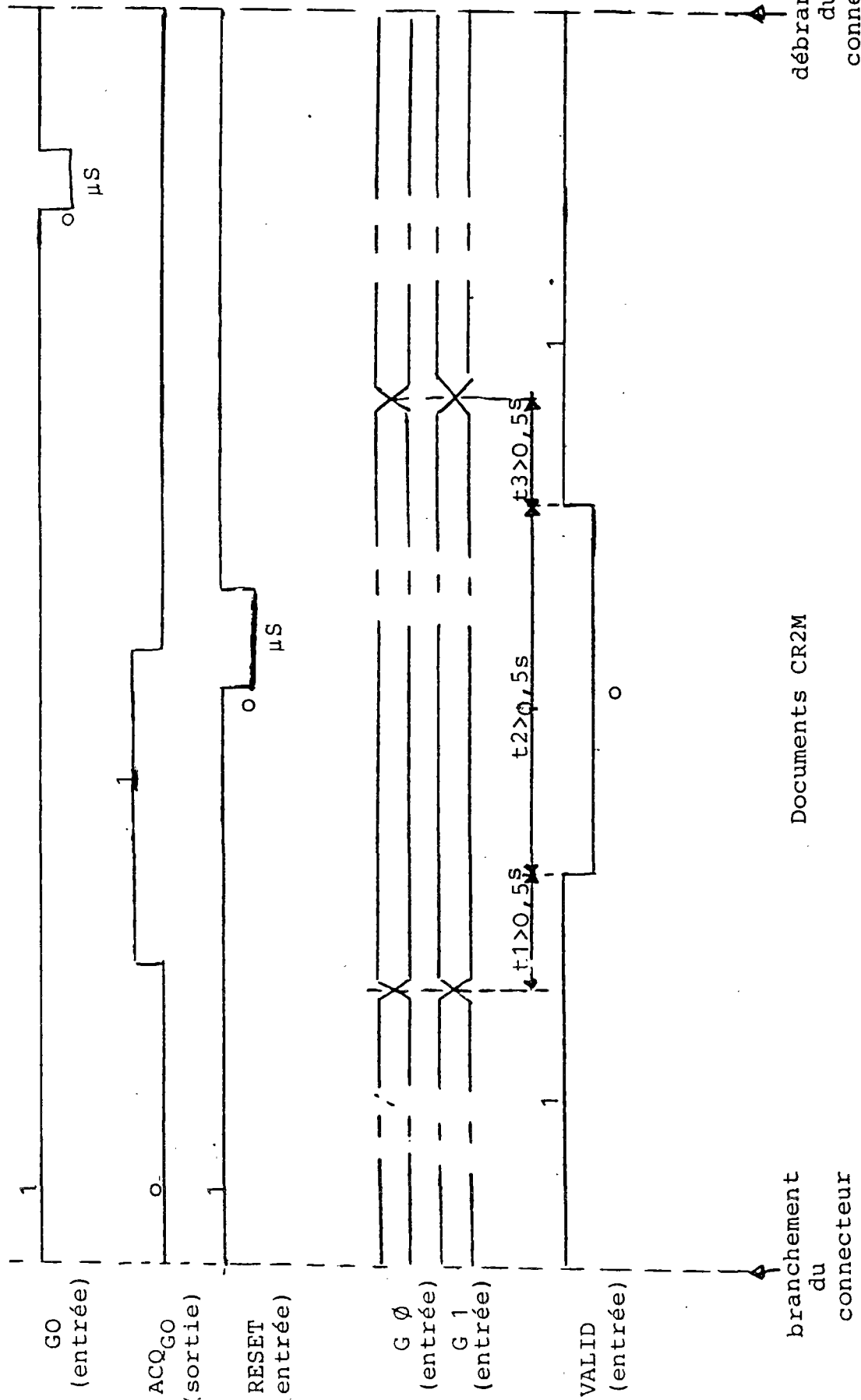
Générateur d'impulsion sur treuil  
Liaison par câble jusqu'à 300 m  
Top par interrupteur  
Suivi en temps réel de la position de la sonde

# CHAINE DE MESURE: L'ICHTYO-THERME



ET DE SELECTION DE GAMME

ANNEXE II



branchement  
du  
connecteur

Documents CR2M

débranchement  
du  
connecteur

toutes les sorties  
doivent être en  
"TRI-STATE"  
(RAM I/O programmée  
en entrées)

mêmes conditions  
que pour le branchement

POISSON THERMOMETRIQUE : LOGIQUE DE LECTURE

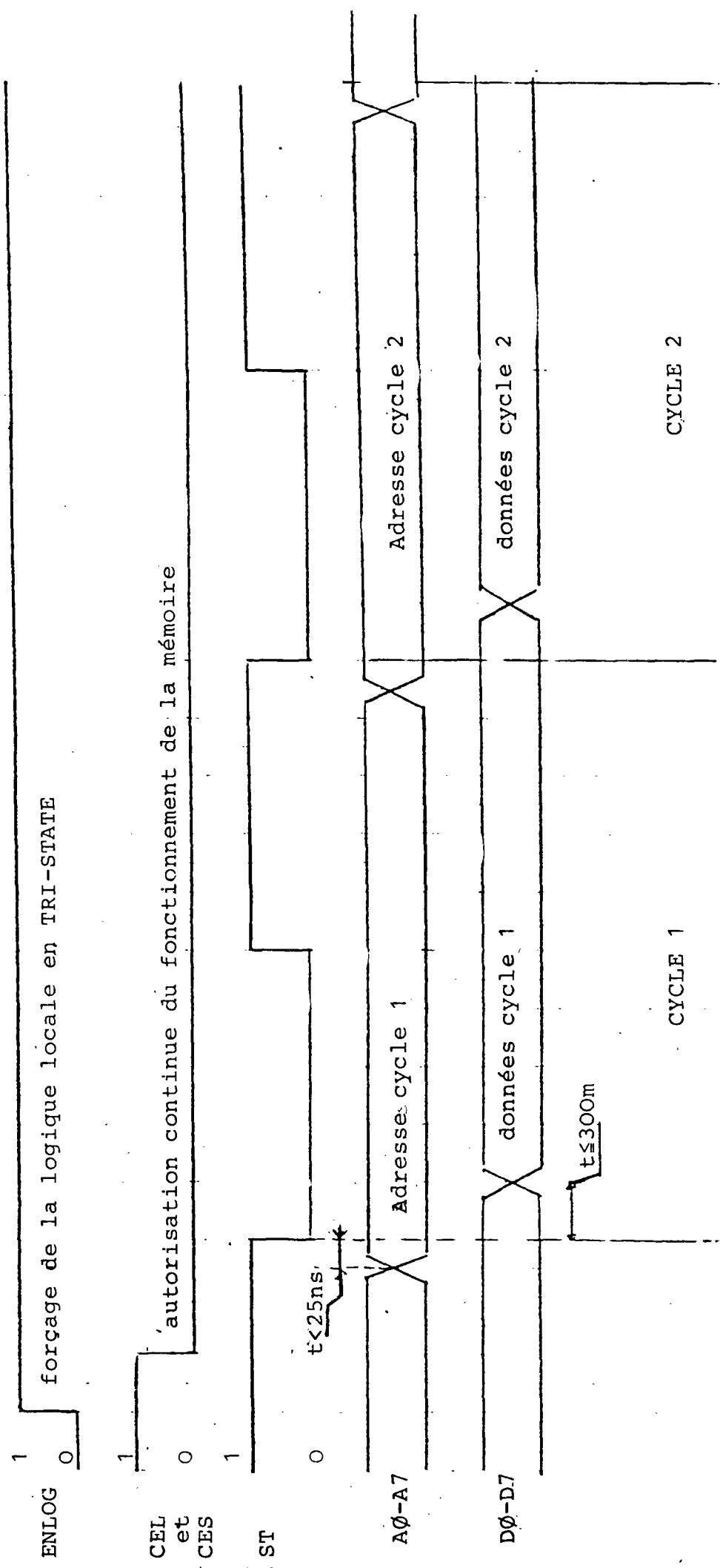
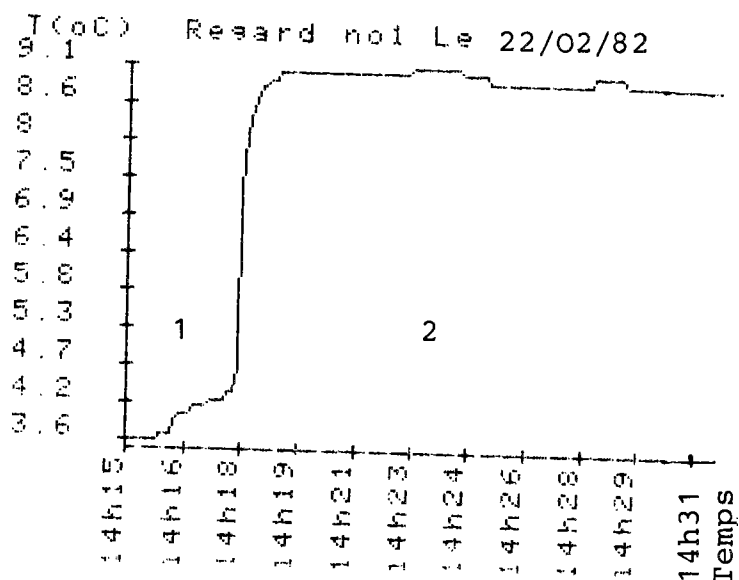


Fig.1 - Recueil des données  
à partir d'un auto-  
mate industriel  
(version 1 sur site)



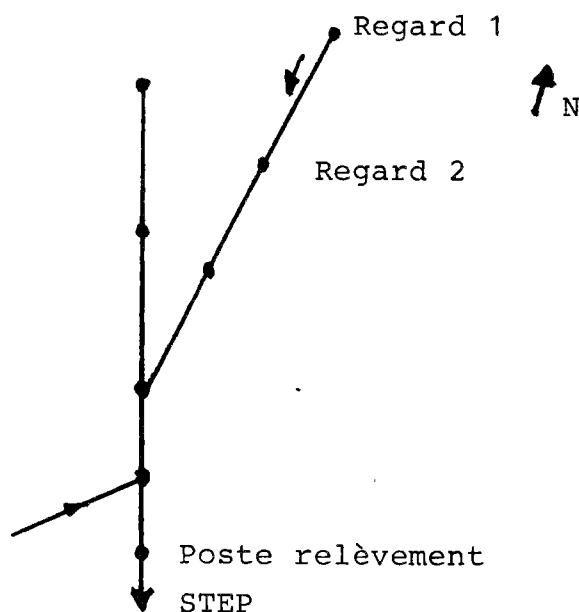
057\*019\*046\*063  
179\*076\*082\*046  
056\*020\*098\*084  
104\*131\*028\*014  
184\*089\*160\*167  
006\*171\*101\*193  
038\*142\*087\*089  
178\*193\*133\*039  
089\*089\*089\*089  
089\*089\*089\*089  
089\*089\*089\*089  
089\*089\*089\*089  
089\*089\*089\*089  
090\*090\*090\*089  
090\*090\*090\*090  
089\*089\*089\*089  
089\*089\*089\*089  
089\*089\*089\*089  
089\*089\*089\*089  
089\*089\*089\*089  
089\*089\*089\*089  
090\*090\*090\*089  
091\*091\*090\*090  
091\*091\*091\*091  
091\*091\*091\*091  
090\*090\*090\*091  
090\*090\*090\*090  
090\*090\*090\*090  
090\*090\*090\*090  
090\*090\*090\*090  
090\*090\*090\*090  
090\*090\*090\*090  
089\*089\*090\*090  
085\*086\*088\*088  
043\*047\*073\*081  
042\*042\*042\*043  
041\*041\*041\*042  
040\*040\*040\*041  
037\*037\*037\*039  
036\*036\*036\*036  
036\*036\*036\*036

Fig.2 - Traitement des données en  
laboratoire (version 4).

Lieu : Villers-St.Paul, 22.02.82

② Réseau en charge, 70m de réseau inspecté  
Ø400, pas de branchement

- 1 - mesures en hors réseau
- 2 - mesures dans le réseau = R1-R2



Auscultation de réseaux (Version 1)

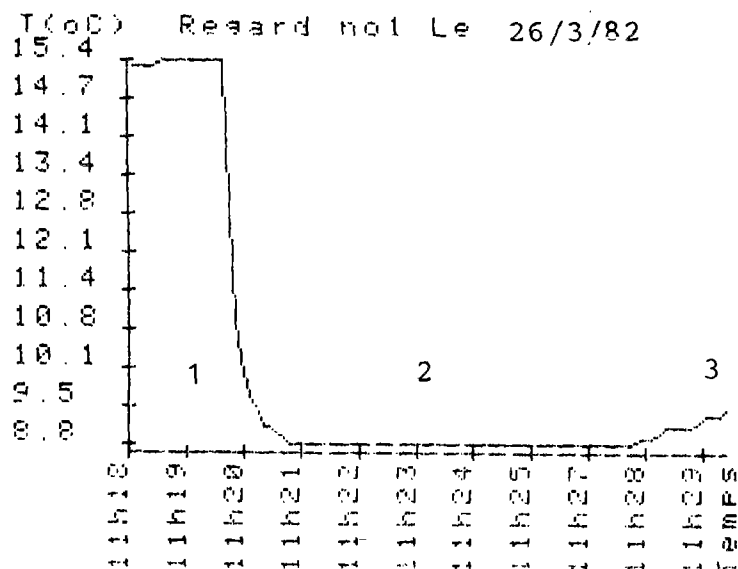


Fig.1 - Mogneville (60), Ø400, h = 300 mm  
Réseau à 2m de la rivière

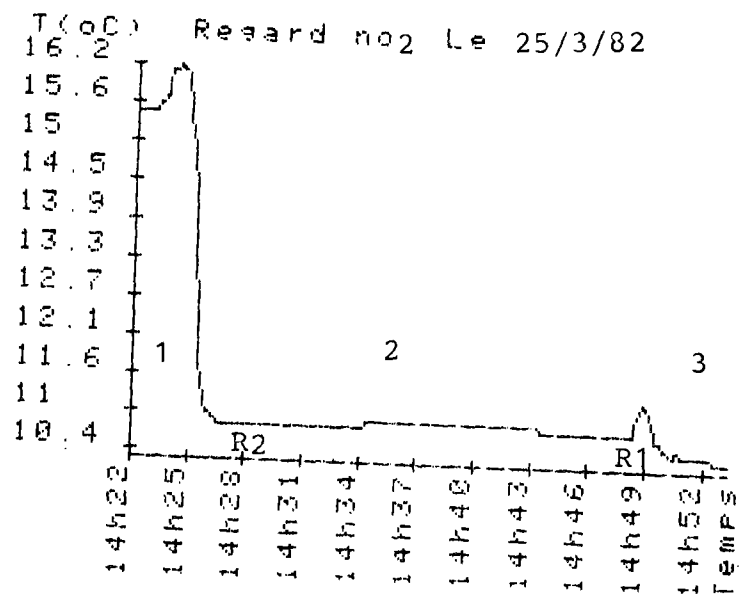
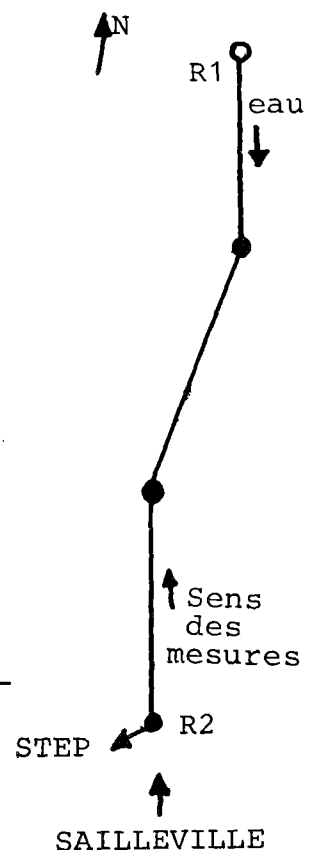
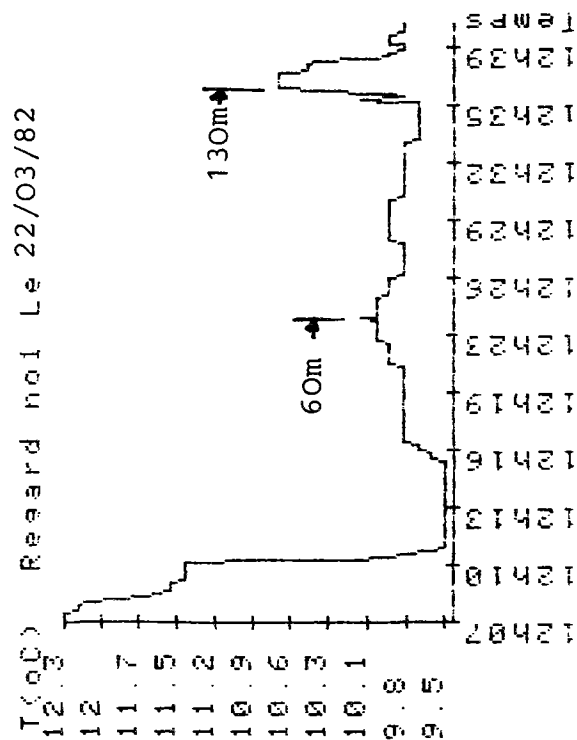
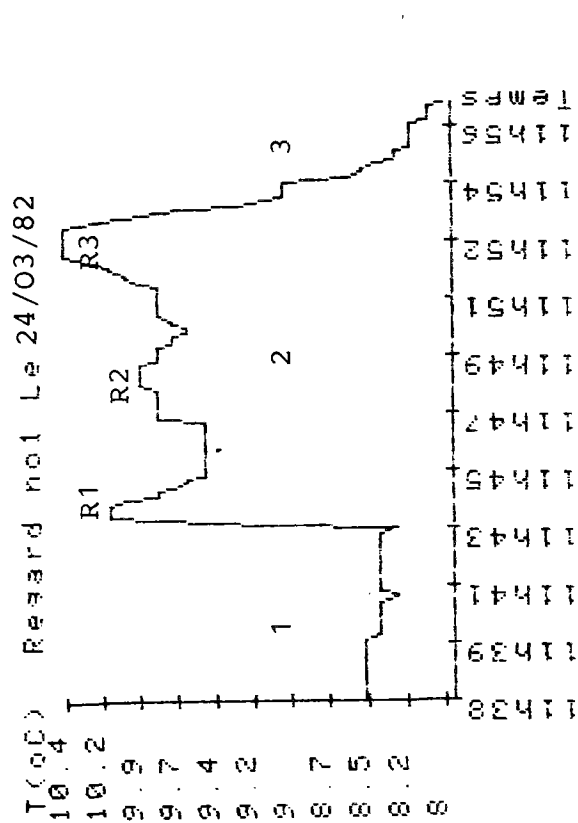


Fig.2 - Liancourt (60), Entrée de la STEP

- Ecoulement à surface libre, 125m inspectés  
Ø 400, h = 30 cm
- Pas de branchements, situé à 80m d'un ruisseau - température stable : 10,9°C







Auscultation de réseaux (version 1)

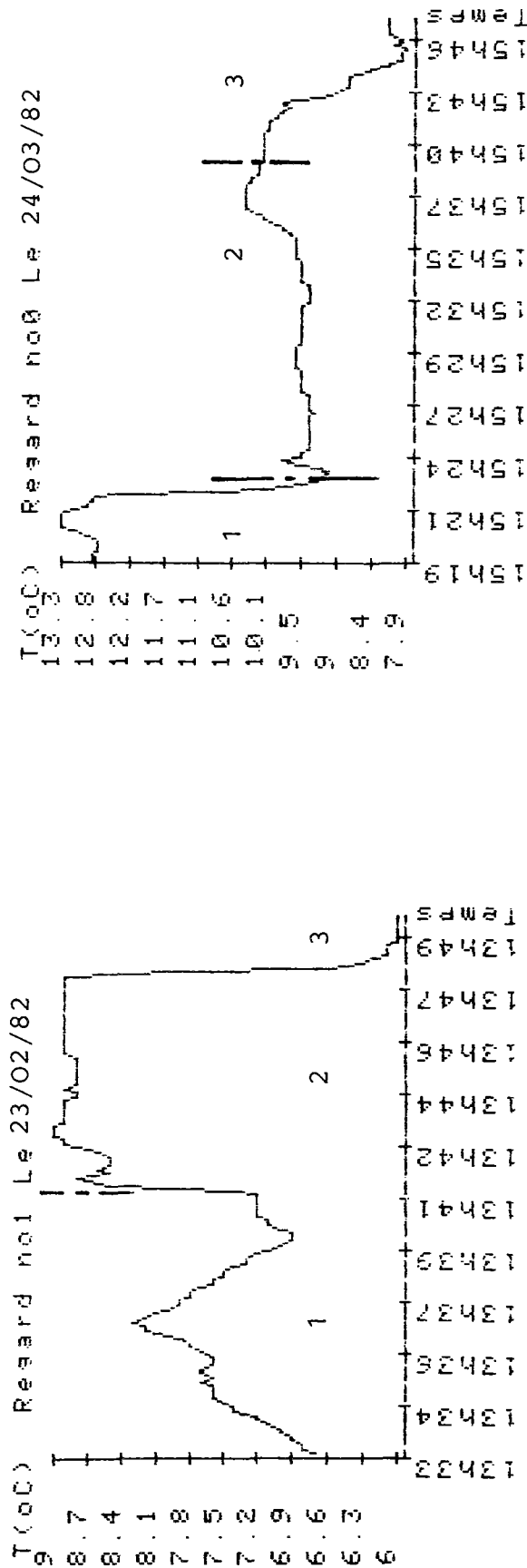


Fig.1 - Villers St. Paul, rue du Marais (60)  
En charge, 40m inspecté R3-R5  
Entrée d'eau froide (4°C de 3°C).  
débordement rivière au niveau de R4  
1 = air, 2 = eau, 3 = air

Fig.2 - Ville de Méru, rue Mimault (60)  
Ø200, 100m inspecté.  
1 = air, 2 = eau, 3 = air

Version 2 de la chaîne

Reseau No 1  
inspecté à la sonde de ToC (Dite  
POISSON THERMOMETRIQUE) le 20/01/83  
ToC moyenne en °C= 10.1  
Temps d'immersion en s= 1648

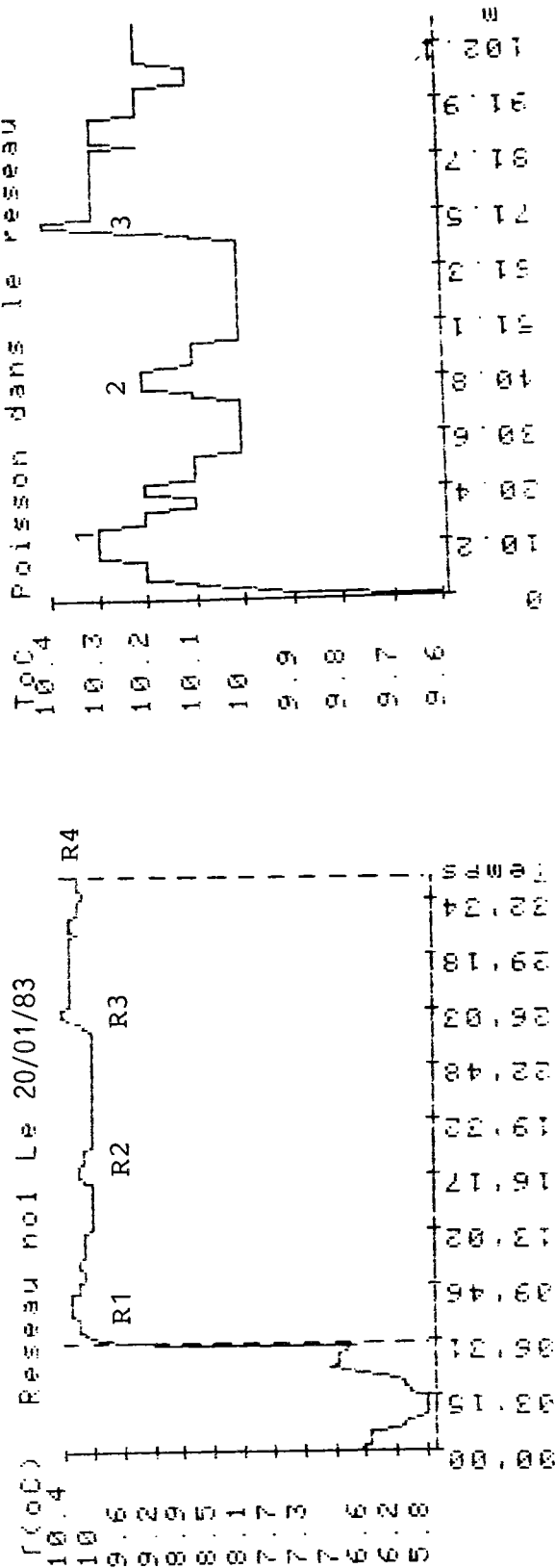
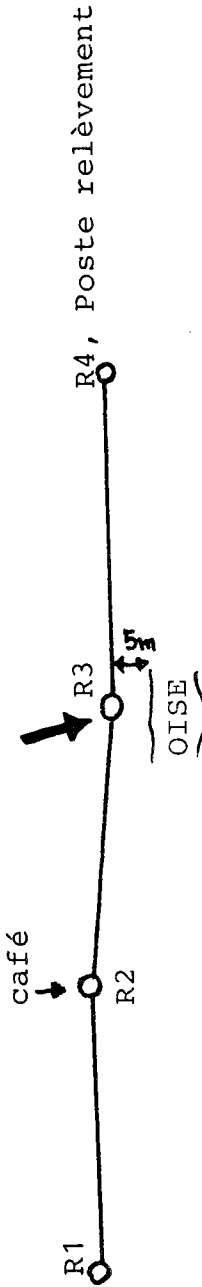


Fig.1 - St.Leu - D'ESSERENT, Poste de relèvement.  
124m inspecté, situé à 5m de l'Oise.  
R3 mentionné sur plan et non repéré.  
Ø250, passage caméra impossible  
réseau en mauvais état.

1 - rejet branchement R1  
2 - rejet hôtel restaurant  
3 - branchement 2è réseau

Reseau No 1  
inspecte a la sonde de ToC (Dite  
POISSON THERMOMETRIQUE) le  
ToC moyenne en OC= 9.8  
Temps d'immersion en s= 1472

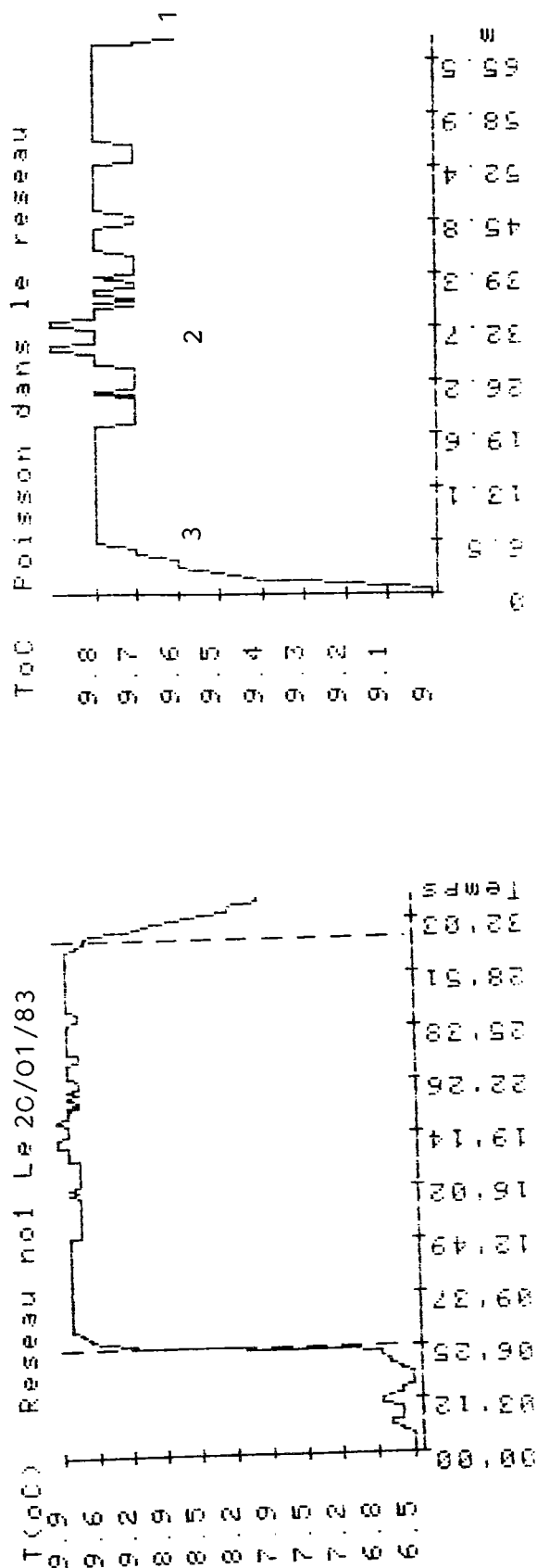


Fig.1 - Pont St.Maxence, Quai Mesnil.  
réseau en charge (arrêt volontaire  
pompe) - à 8m de l'Oise -  
sens mesure = sens écoulement

2 - branchement au niveau R2

Auscultation de réseaux (version 1)

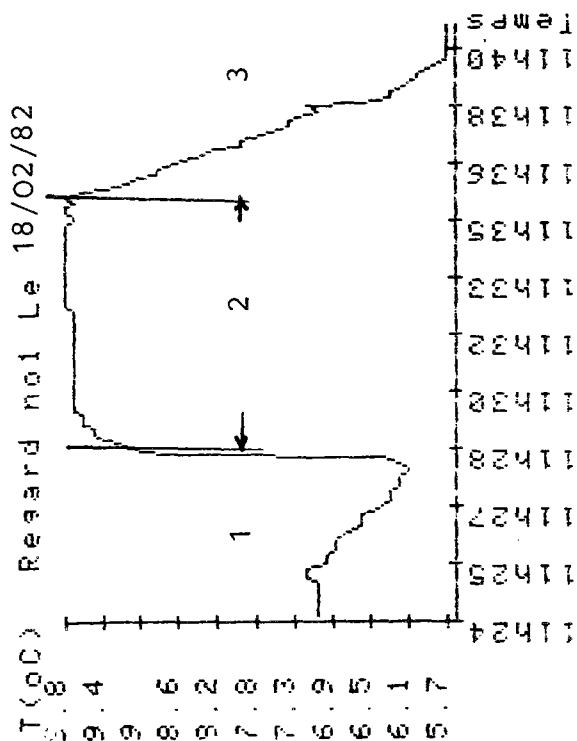


Fig.1 - Villers St. Paul R2-R3  
réseau en charge, Ø400-10m  
à 80m rivière, pas de branchement  
nappe haute ( 40cm).

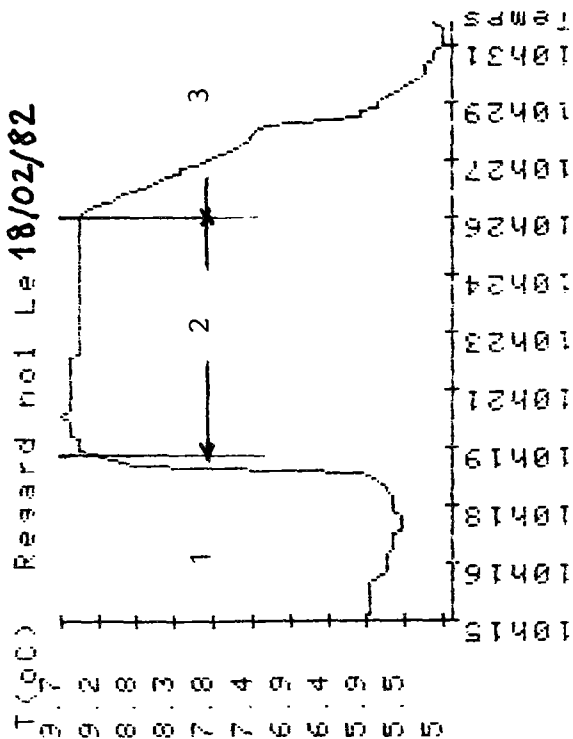
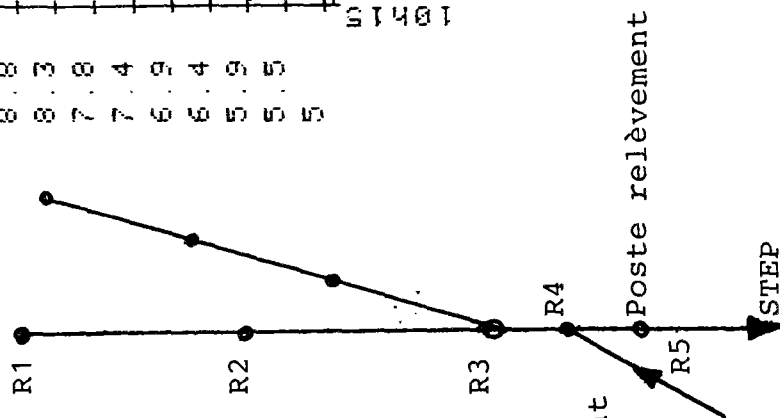
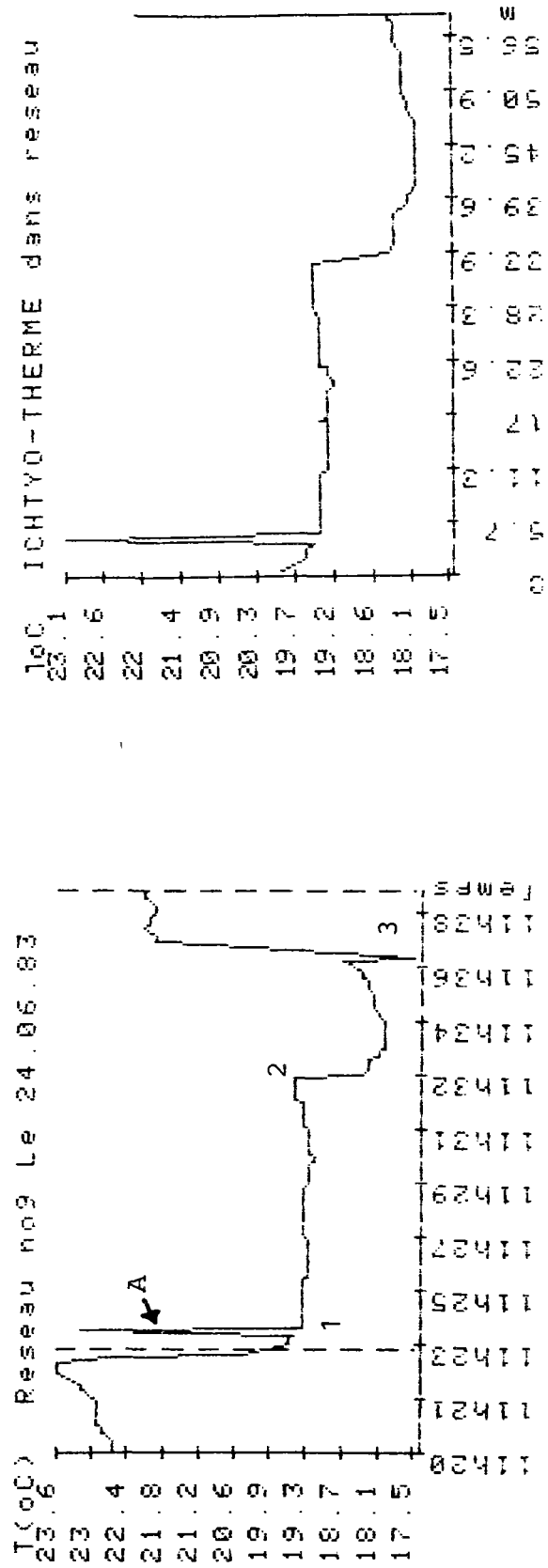


Fig.2 - Villers St. Paul R1-R2  
réseau en charge, Ø400, 40m  
Pas de branchement.



Auscultation d'un réseau à Creil (60)  
 Rue Biondi, simulation entrée d'eau froide (au 2)  
 Ø250, h = 4 cm  
 branchement immeuble  
 capteur hors d'eau (h = 4cm)



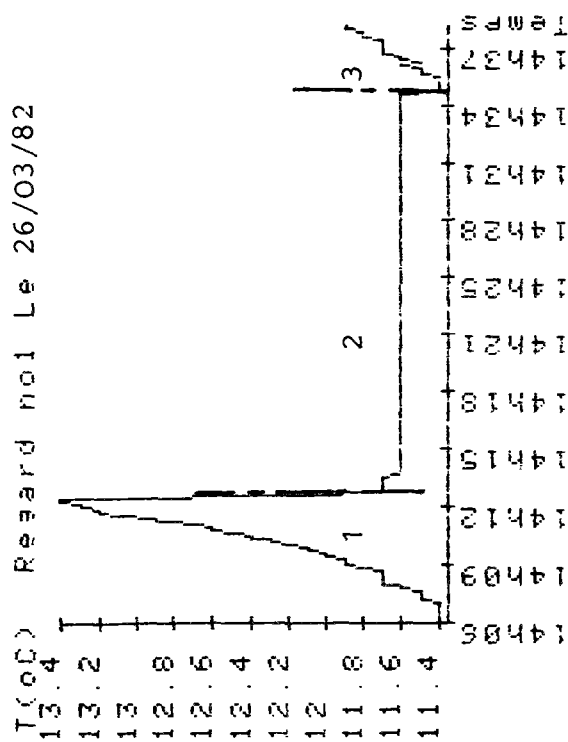
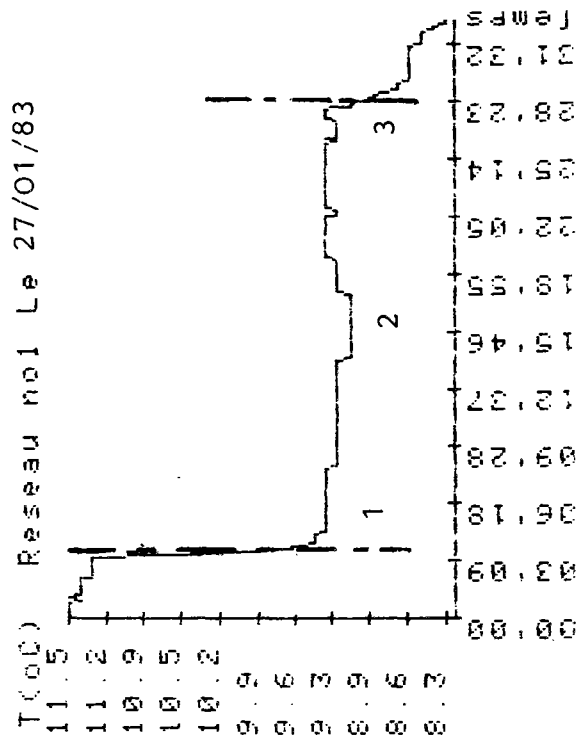


Fig.1 - Réseau à LIANCOURT (60)  
 Ø400, h = 200, longueur inspectée = 120m  
 pas de branchement, t°C stable = 11,6°C  
 à 5m de la rivière



Auscultation Réseau à Fismes (51)  
Avenue de la Gare

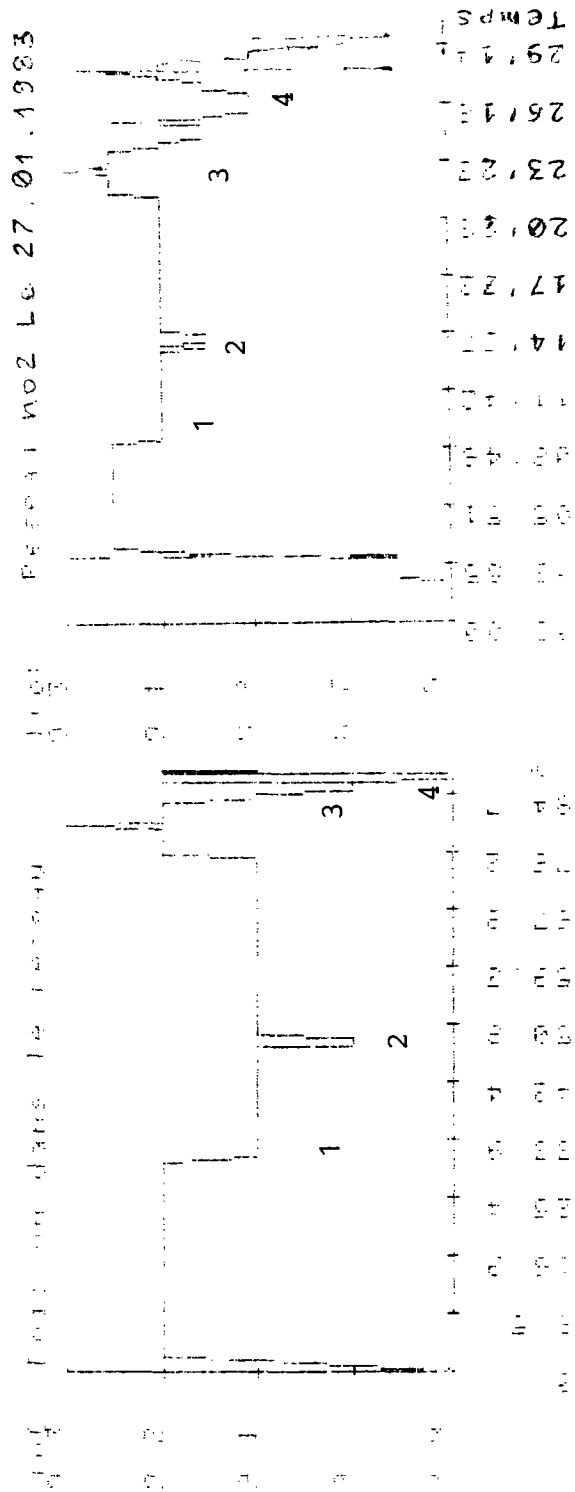


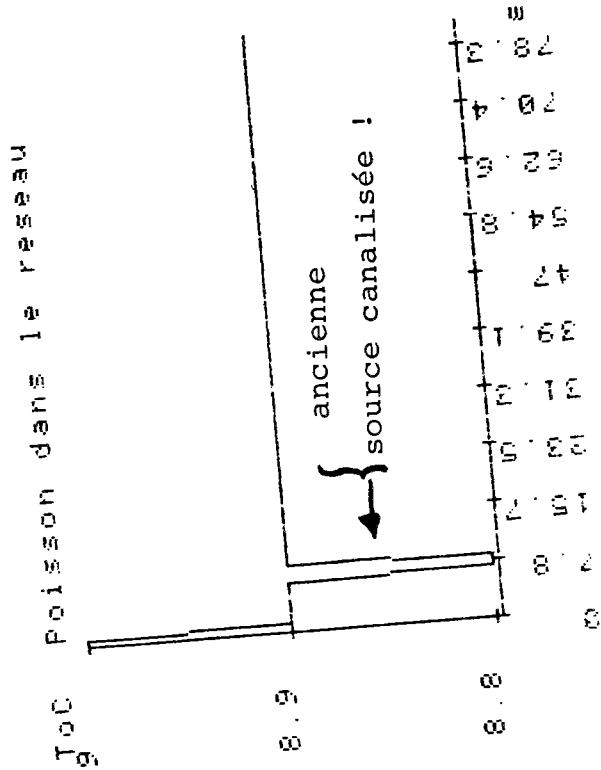
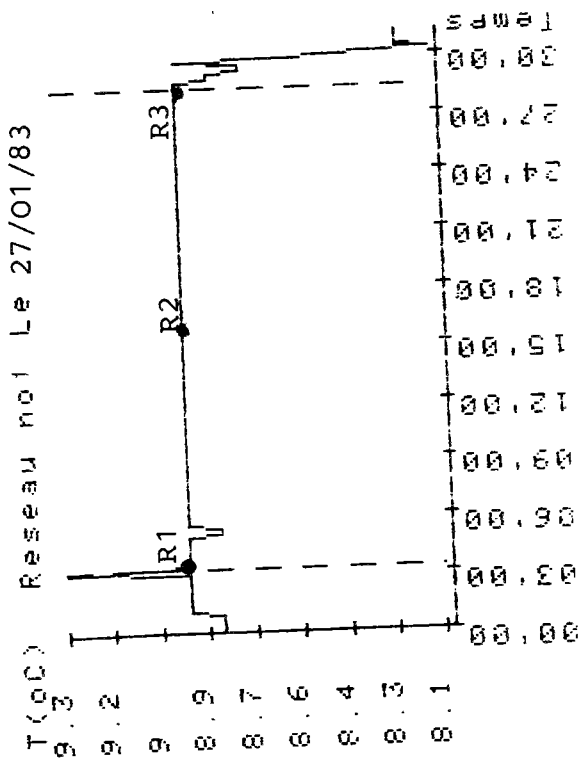
Fig.1 - 88m de réseau inspecté, écoulement à surface libre

1 - drainage nappe  
2 - infiltration  
3 - branchement  
4 - infiltration



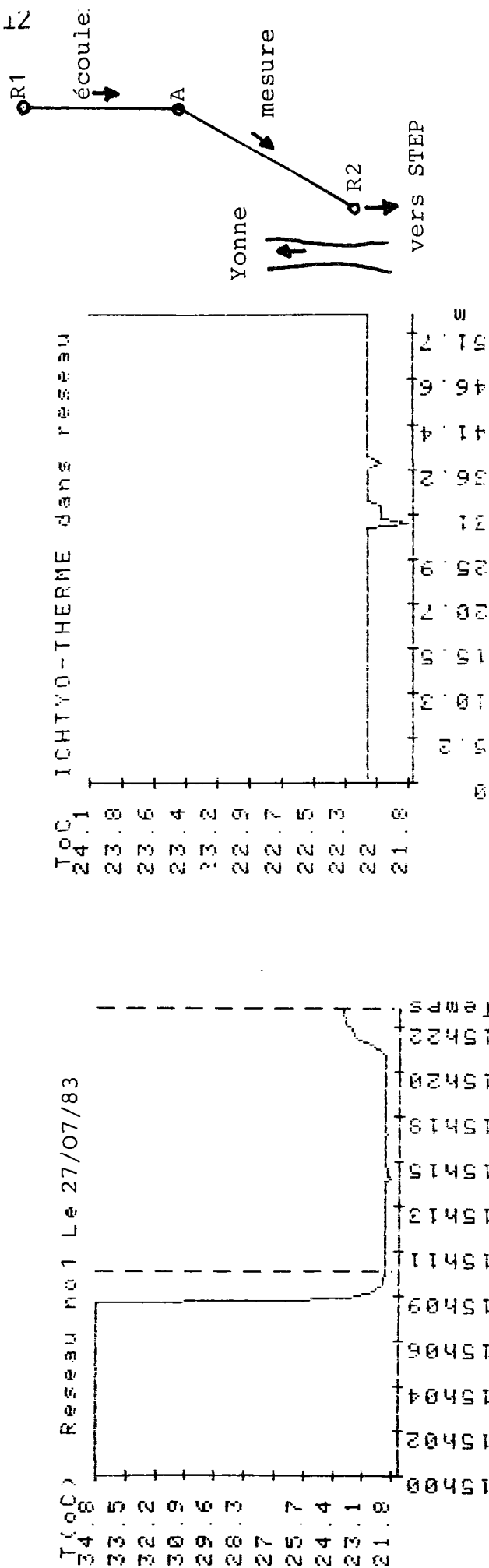
Auscultation d'un réseau

FISMES (51), Avenue de la gare.  
Sens mesure contraire sens écoulement, écoulement à surface libre, Ø250  
Ancienne source à 8m du regard R1, branchement en R1, R2 et R3



Rue a JOIGNY le 27.7.83  
 sans Mesure = sans Ecoulement  
 Reseau No 1  
 inspecte a la sonde de ToC (dite  
 ICHTYO-THERME ) le 27.7.83  
 Temps ensoleillé  
 RESERU INPECTE LE a 15h00

Longueur inspectee: 53.8 m  
 ToC moyenne du resseau en oc=  
 22.6  
 Temps d'immersion de l'ICHTYO-  
 THERME en secondes = 800  
 Vitesse moyenne en m /mn= 4.04



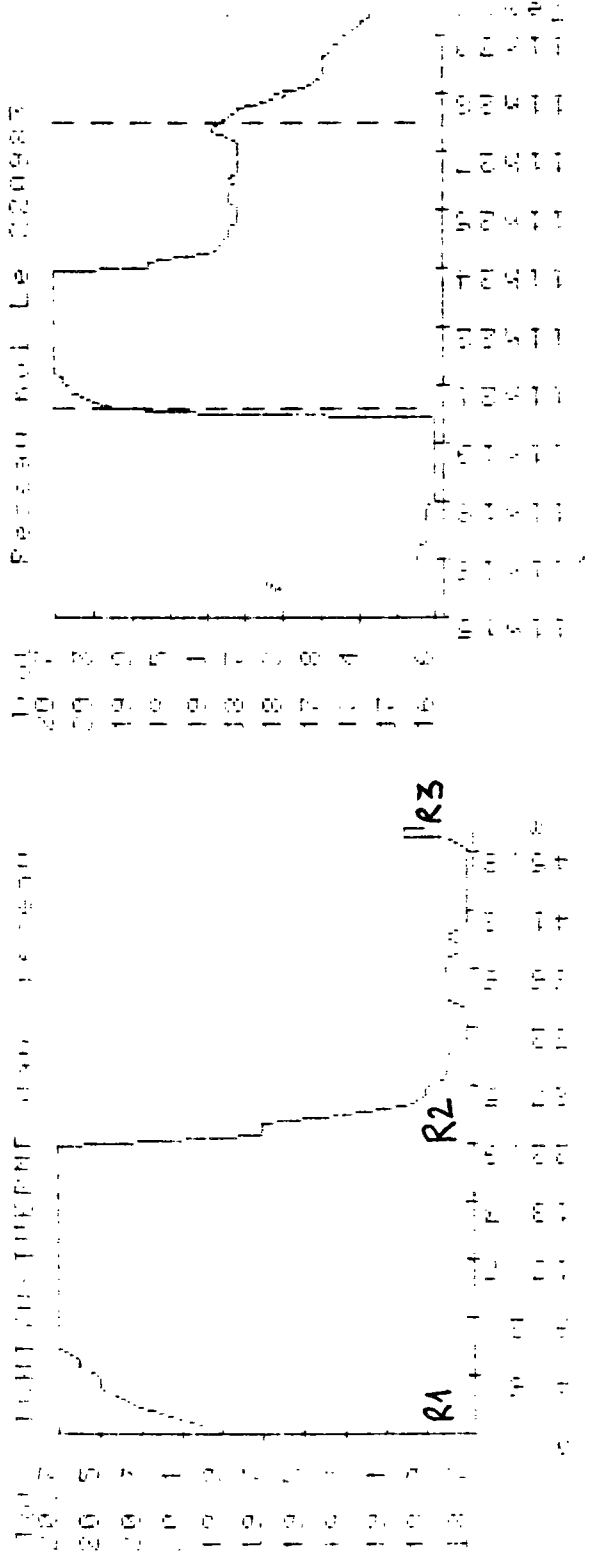
Réseau à 15m de l'Yonne, écoulement à surface libre. Ø500, h = 300.  
 Infiltrations au niveau d'un regard intermédiaire (A)  
 Stabilité à 22.1°C, température air ambiant > 35°C (capteur sous soleil).

Auscultation d'un réseau à Creil

Boulevard Biondi

Introduction d'eau froide à 24 m du réseau à partir d'un

camion citerne - Démonstration



## ANNEXE IV

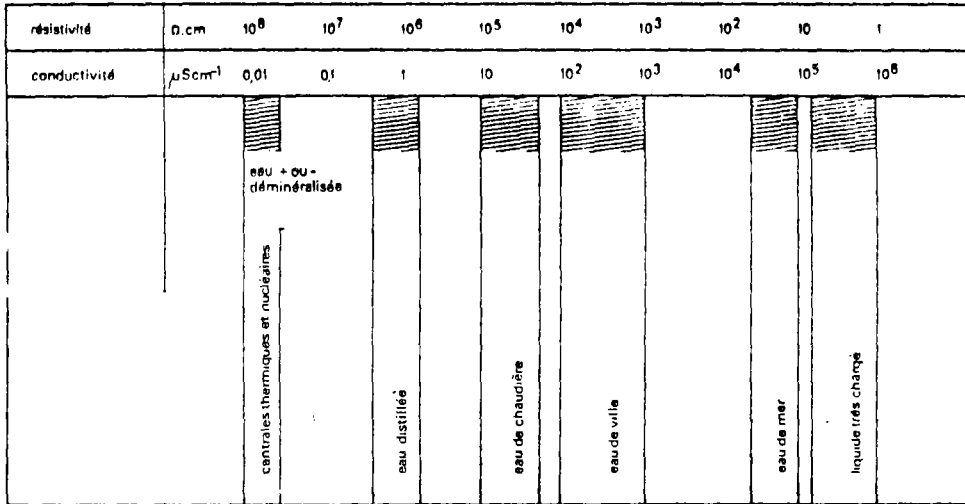


Tableau 1 - Gamme de conductivités pour différentes eaux.

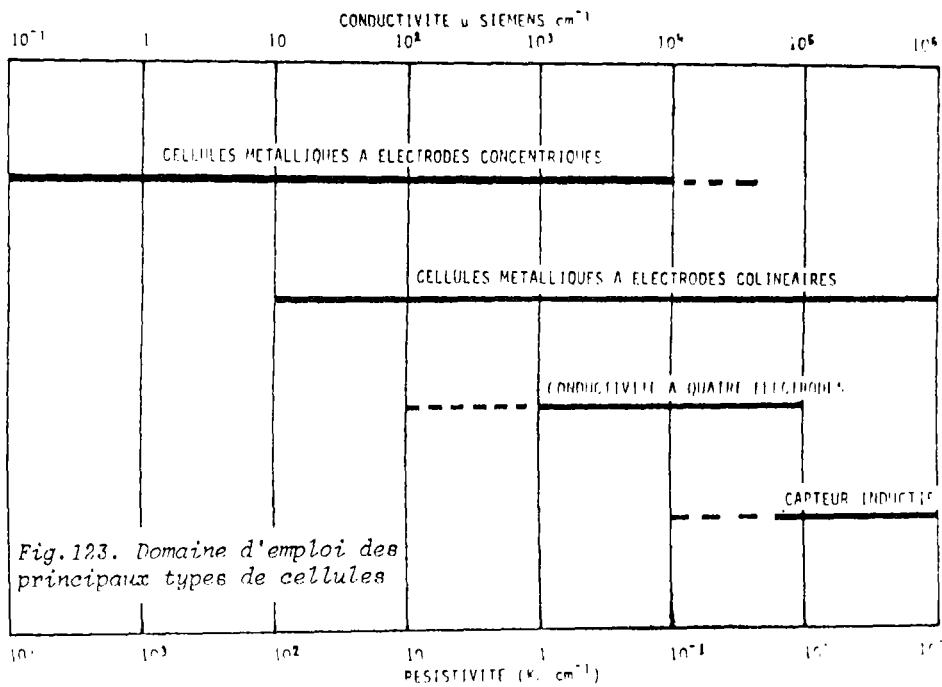


Tableau 2 - Capteurs correspondants à différentes gammes de conductivité.

Tirés de (7)

APPAREILS DE MESURE PHYSICO-CHIMIQUE

ANNEXE IV BIS

Correspondances entre Conductivité, Concentrations salines  
et Résistivité des eaux  
(sources: Kohlrausch, Thomas, Unesco)

Conductivité $\mu S/cm$ (microsiemens = micro rhos)		Solution molaire de KCl	Solution molaire de Na Cl	Teneur en ppm KCl	Teneur en ppm Na Cl	Teneur approchée g/l Na Cl	Equivalence Conductivité-résisti- vité $\mu S/cm$	Signification qualitative
à 15°C	à 20°C	à 25°C						
92520	102070	111800	N	74557			100000	10 Sursalinité (Lacs salés, Chott, solutions industrielles...)
43298	53900	59321			39744	40	50000	20 Diverses eaux marines et lagunaires
42396	47882	53039			35000	35	20000	50 Teneur marine moyenne : 35 g/l
25722	28749	31879			19872	20	10000	100
14758	16512	18324			10839	11	5000	200 Eaux saumâtres
10480	11670	12880	N/10	7456			2500	400
7778	8702	9658			5419	5	2000	500 Eaux douces très minéralisées
2763	3091	3431			1806	2	1000	1000 impropres aux usages domestiques et agricoles
2243	2501	2765	N/50	1491			500	2000 Eaux douces de minéralisation moyenne
1146	1277	1403	N/100	746			200	5000 Eaux douces peu minéralisées
939	1074	1209	N/100		584,5	0,6	100	10000 Teneur max. tolérée dans les eaux potables
120	132	146,5	N/1000	74,6			50	20000 Eaux très saumâtres
98,5	112	125,4	N/1000		58,5	0,06		

# ANNEXE IVTER

CHARGE IONIQUE DES SOLUTIONS AQUEUSES EN FONCTION DE LEUR CONDUCTIVITE (micro-mhos = micro-siemens) ET EXPRIMEE EN TENEUR DE KCl.

Température	KCl <sub>n</sub> .	KCl <sub>n</sub> /10	KCl <sub>n</sub> /50	KCl <sub>n</sub> /100
10	83 190	9 33 0	1 994	1 020
11	85 040	9 56 0	2 043	1 045
12	86 890	9 79 0	2 093	1 070
13	88 760	10 02 0	2 142	1 095
14	90 630	10 25 0	2 193	1 121
15	92 520	10 48 0	2 243	1 147
16	94 410	10 72 0	2 294	1 173
17	96 310	10 95 0	2 345	1 199
18	98 220	11 19 0	2 397	1 225
19	100 140	11 43 0	2 449	1 251
<u>20</u>	<u>102 070</u>	<u>11 67 0</u>	<u>2 501</u>	<u>1 278</u>
21	104 000	11 91 0	2 553	1 305
22	105 940	12 15 0	2 606	1 332
23	107 890	12 39 0	2 659	1 359
24	109 840	12 64 0	2 712	1 386
25	111 800	12 88 0	2 765	1 413
26	113 770	13 13 0	2 819	1 441
27	115 740	13 37 0	2 873	1 468

Notice d'utilisation de PONSELLE

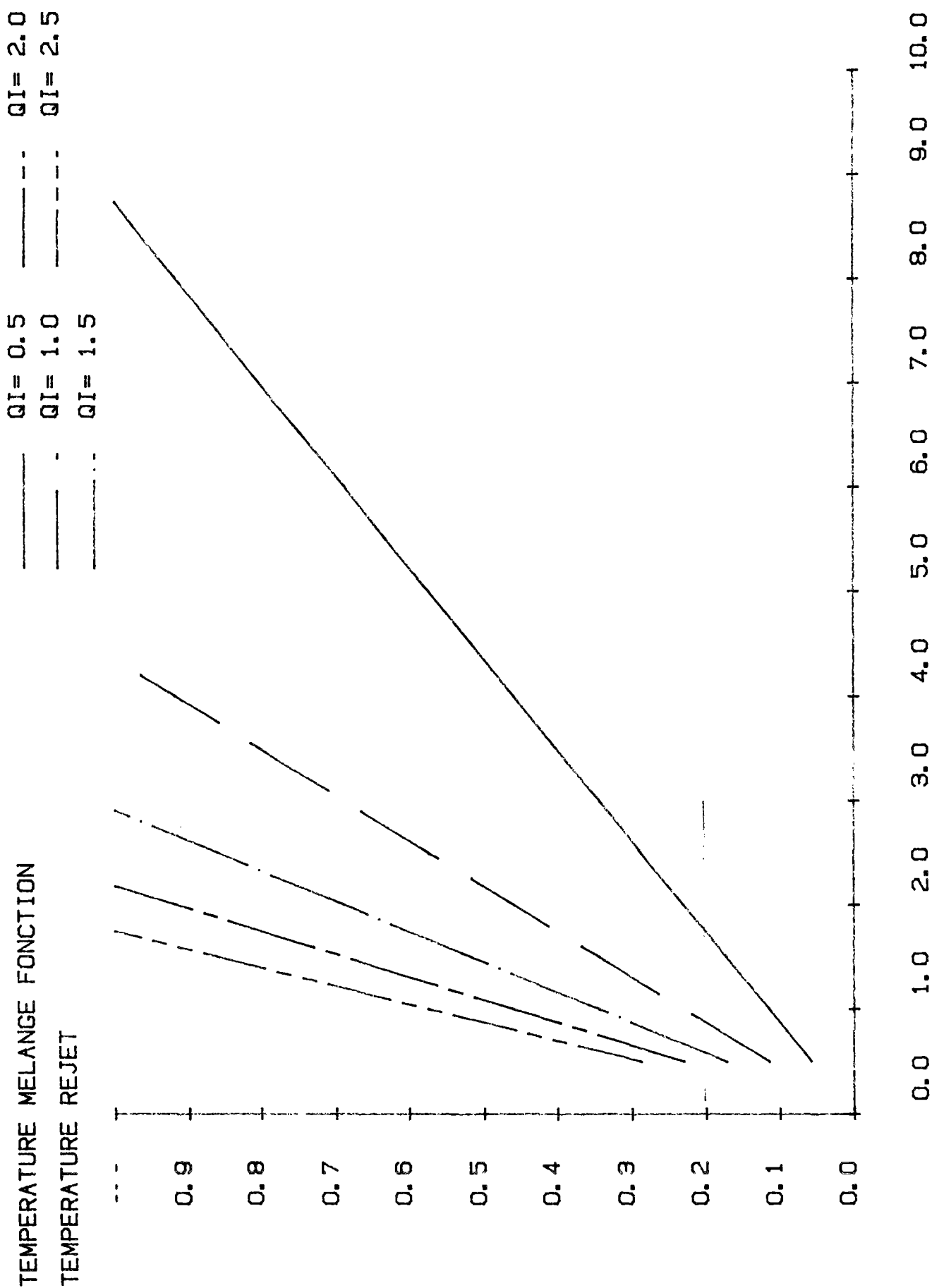


Figure 1 :  $r = 2$  cm,  $x = 20$  cm

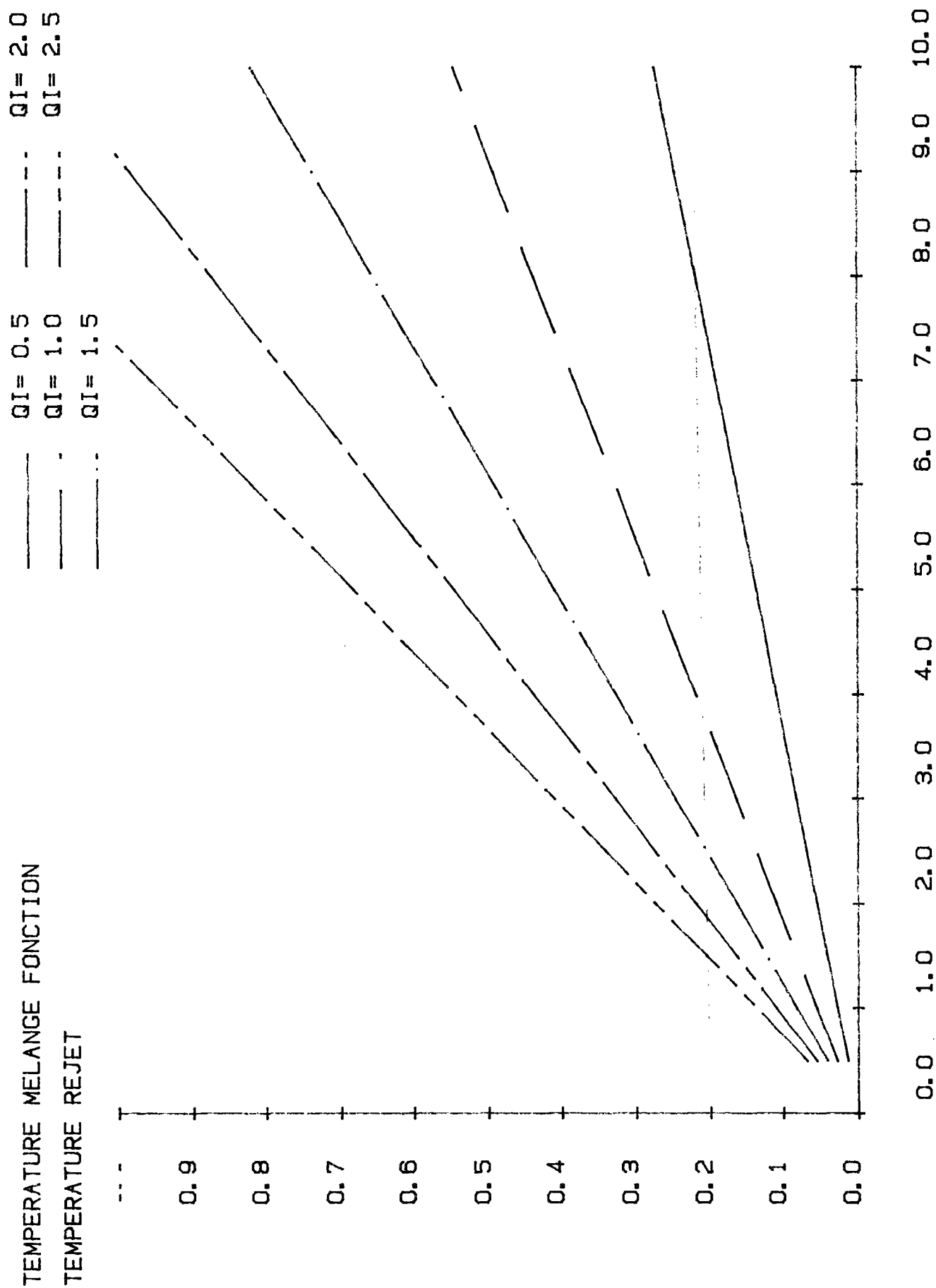


Figure 2 :  $r = 2 \text{ cm}$ ,  $x = 1 \text{ m}$



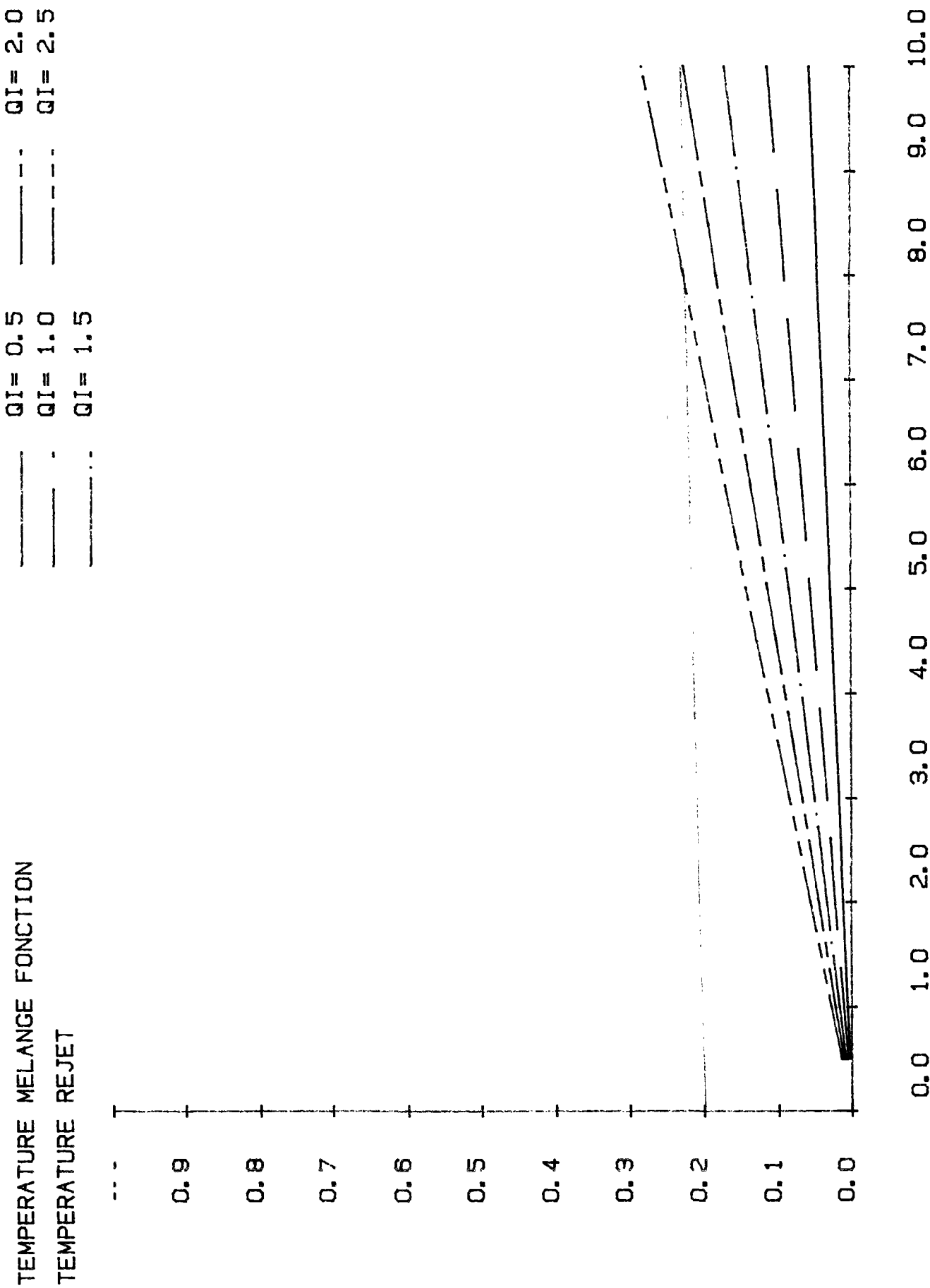


Figure 3 :  $r = 2 \text{ cm}$ ,  $x = 5 \text{ m}$

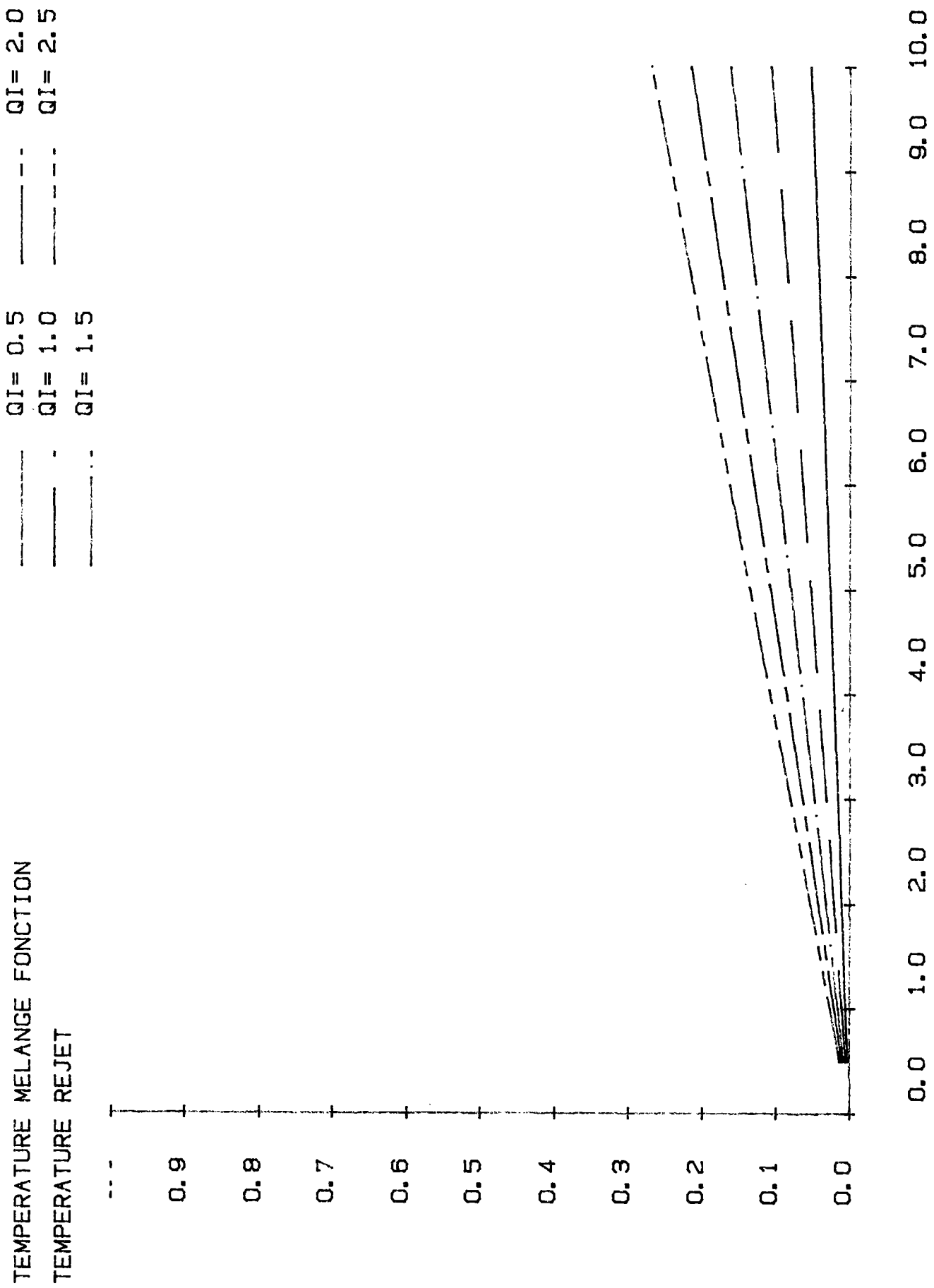


Figure 4 :  $r = 5 \text{ cm}$ ,  $x = 5 \text{ m}$

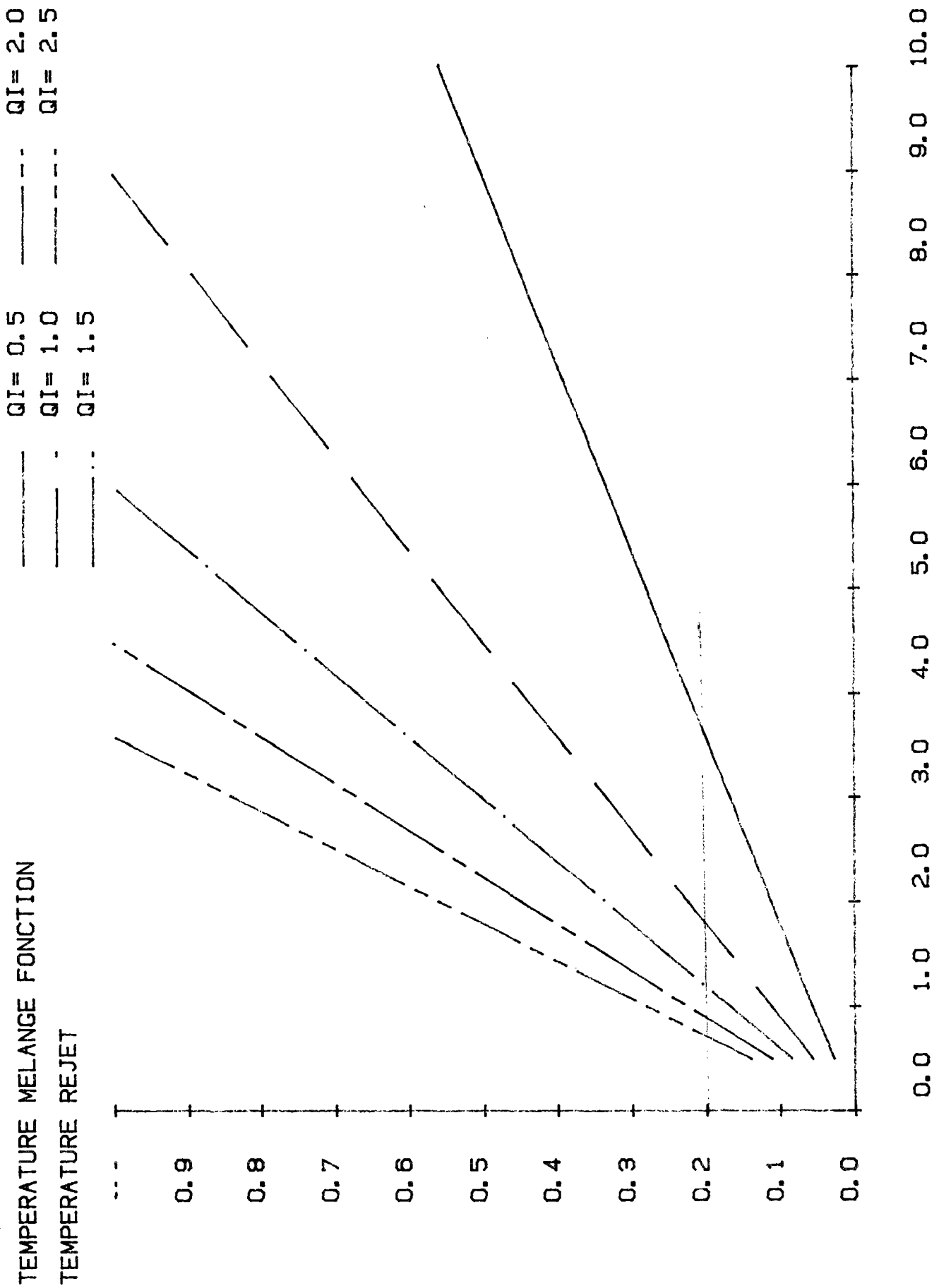


Figure 5 :  $r = 3$  cm,  $x = 40$  cm

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

_____	DT = .1	_____	DT = .4
_____	DT = .2	_____	DT = .5
_____	DT = .3		

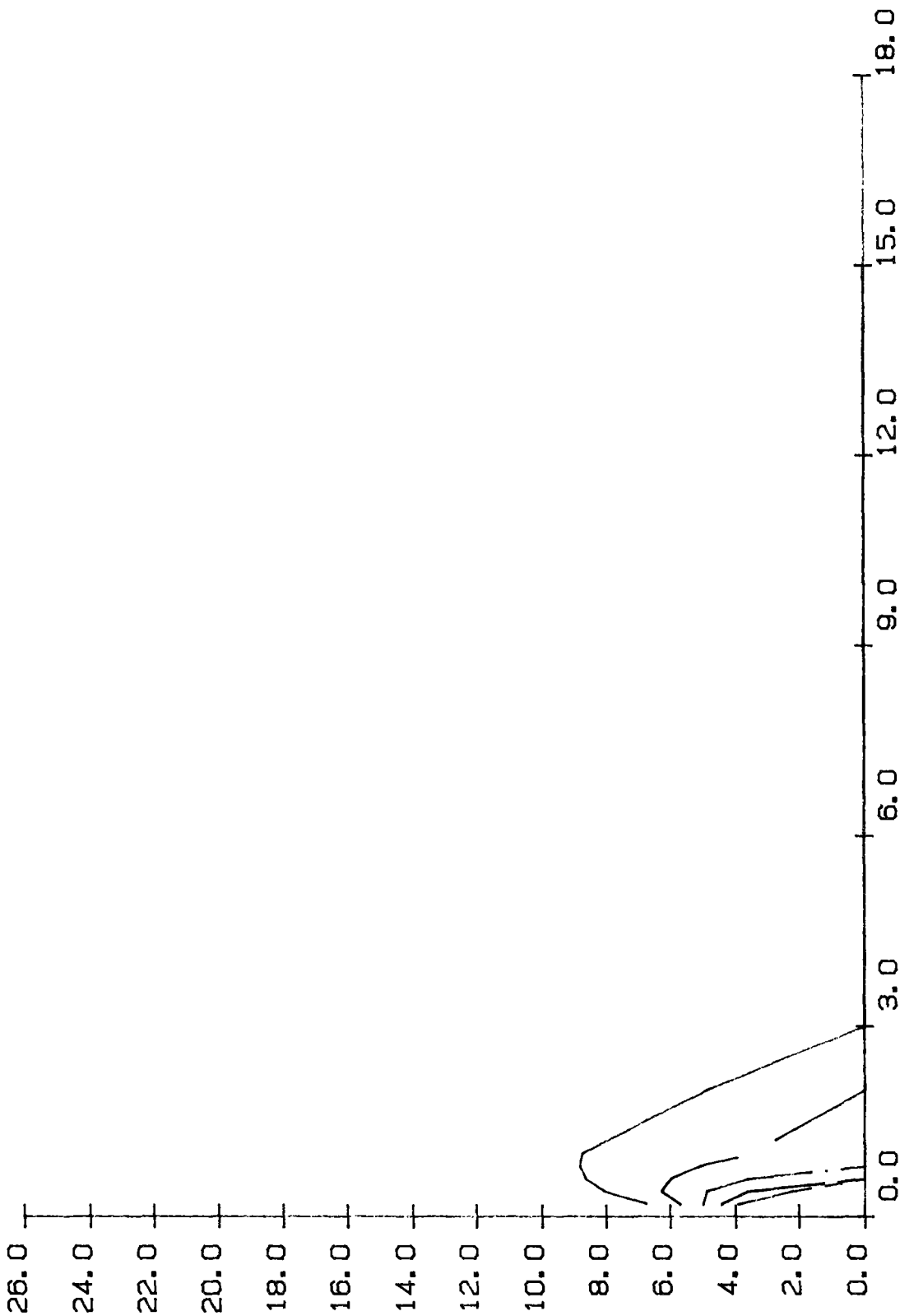


Figure 1 : QI = 4l/s, DTI = 1°C

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

_____	DT = .1	_____	DT = .4
_____	DT = .2	_____	DT = .5
_____	DT = .3		

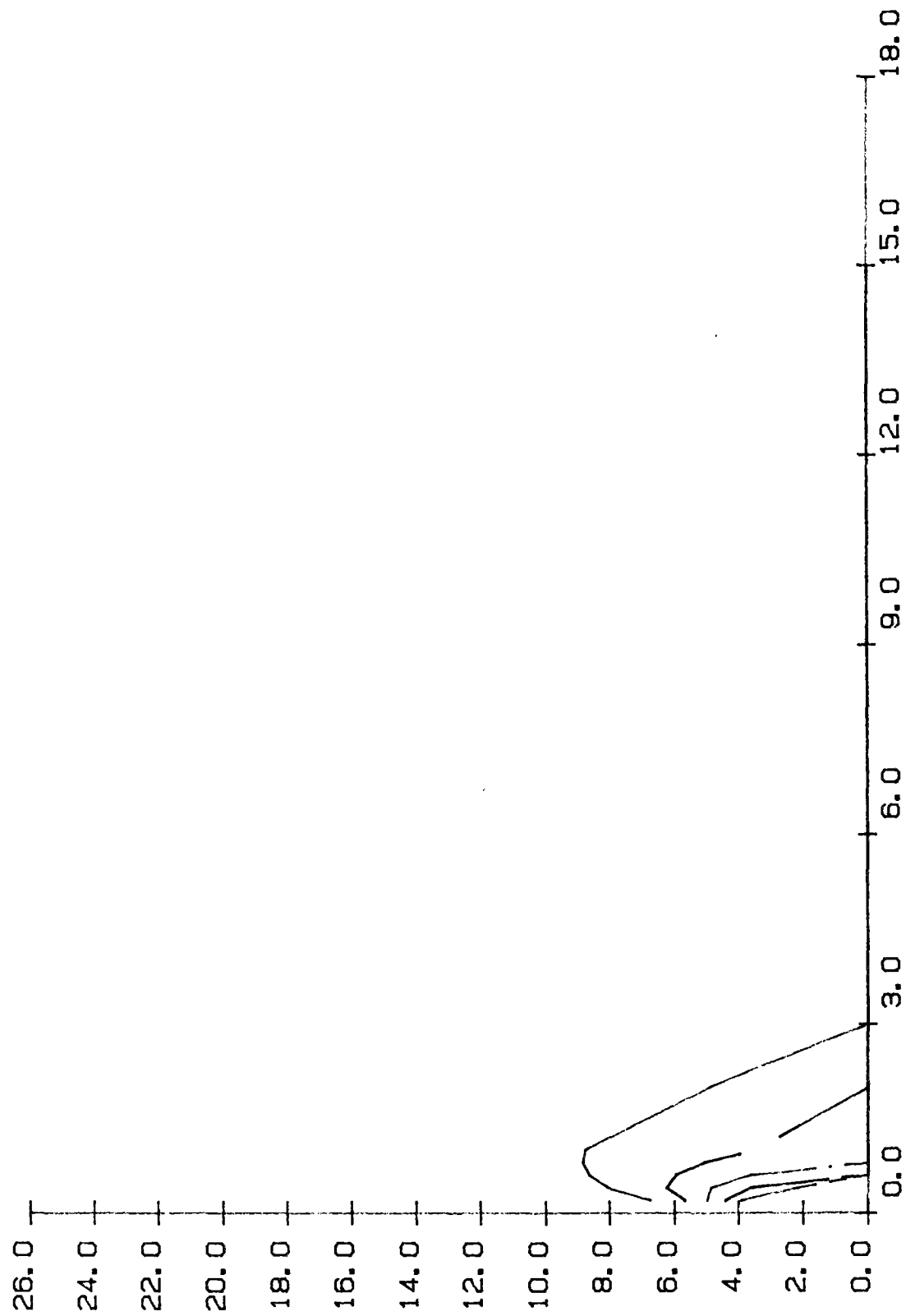


Figure 2 : QI = 11/s, DTI = 4°C

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

—	DT = .1	—	DT = .4
- -	DT = .2	- -	DT = .5
- - -	DT = .3		

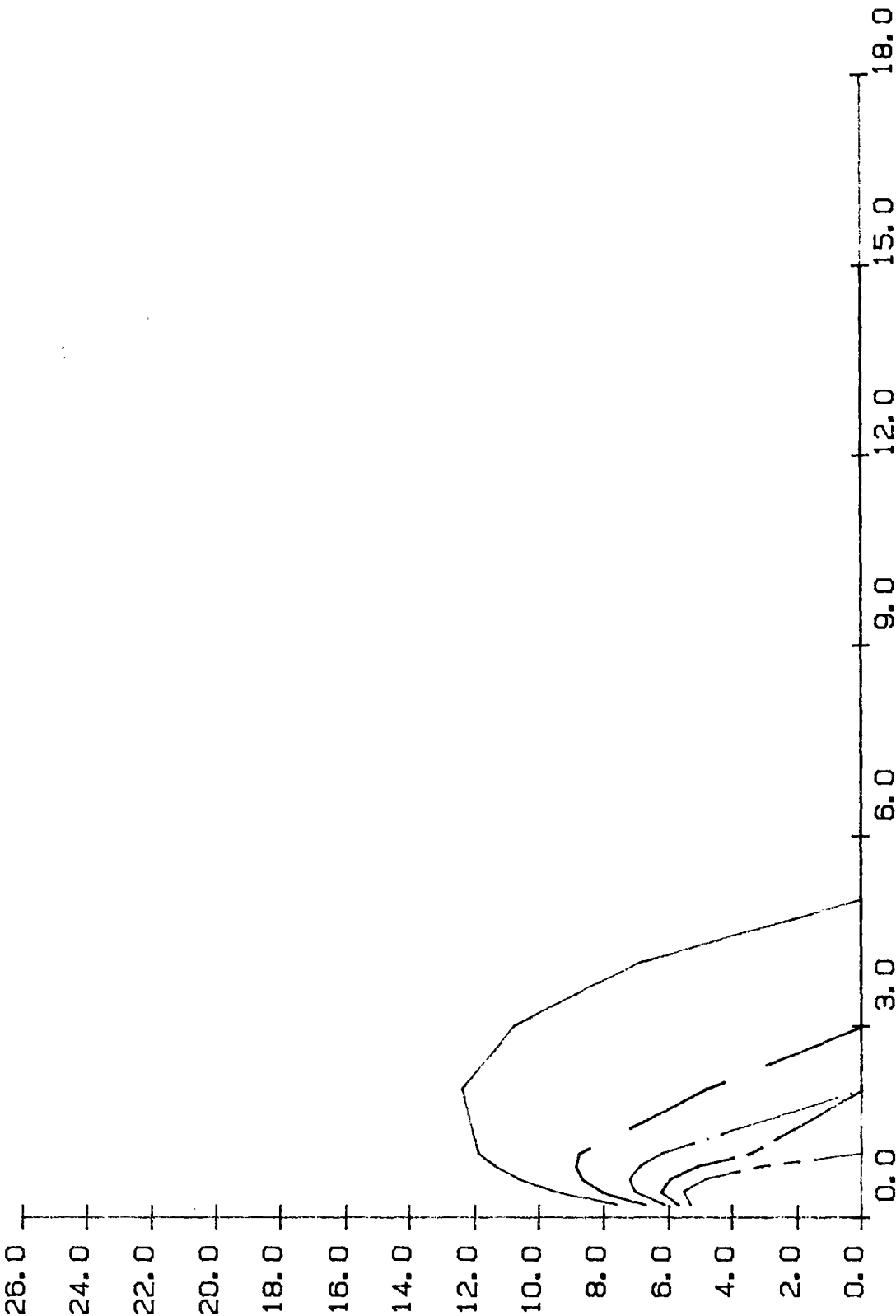


Figure 3 : QI = 21/s, DTI = 4°C

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

—	DT = .1	—	DT = .4
- -	DT = .2	- -	DT = .5
- . -	DT = .3		

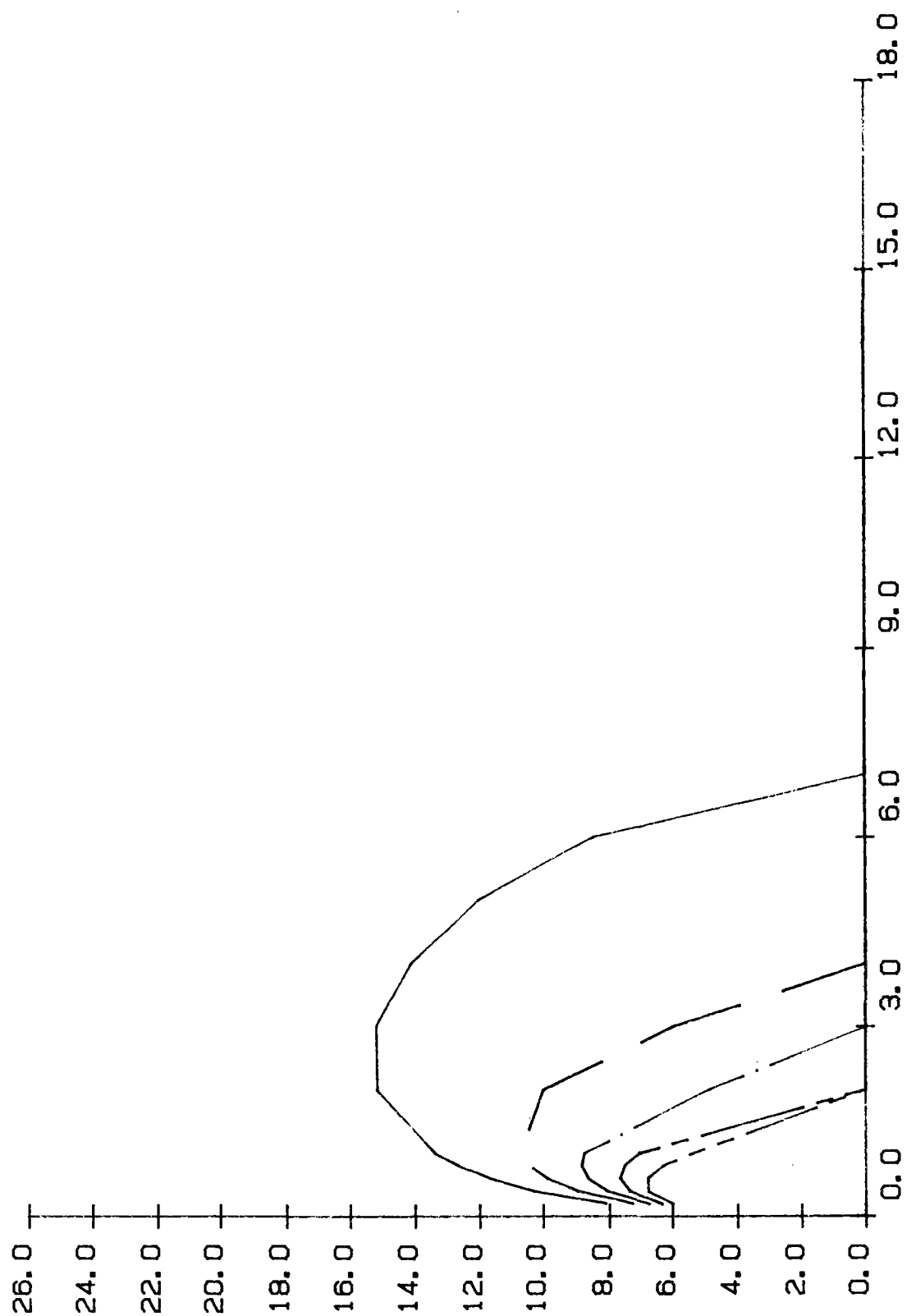


Figure 4 : QI = 31/s, DTI = 4°C

TRACE ISOTHERME SUR 15 m

---	DT = .1	---	DT = .4
---	DT = .2	---	DT = .5
---	DT = .3		

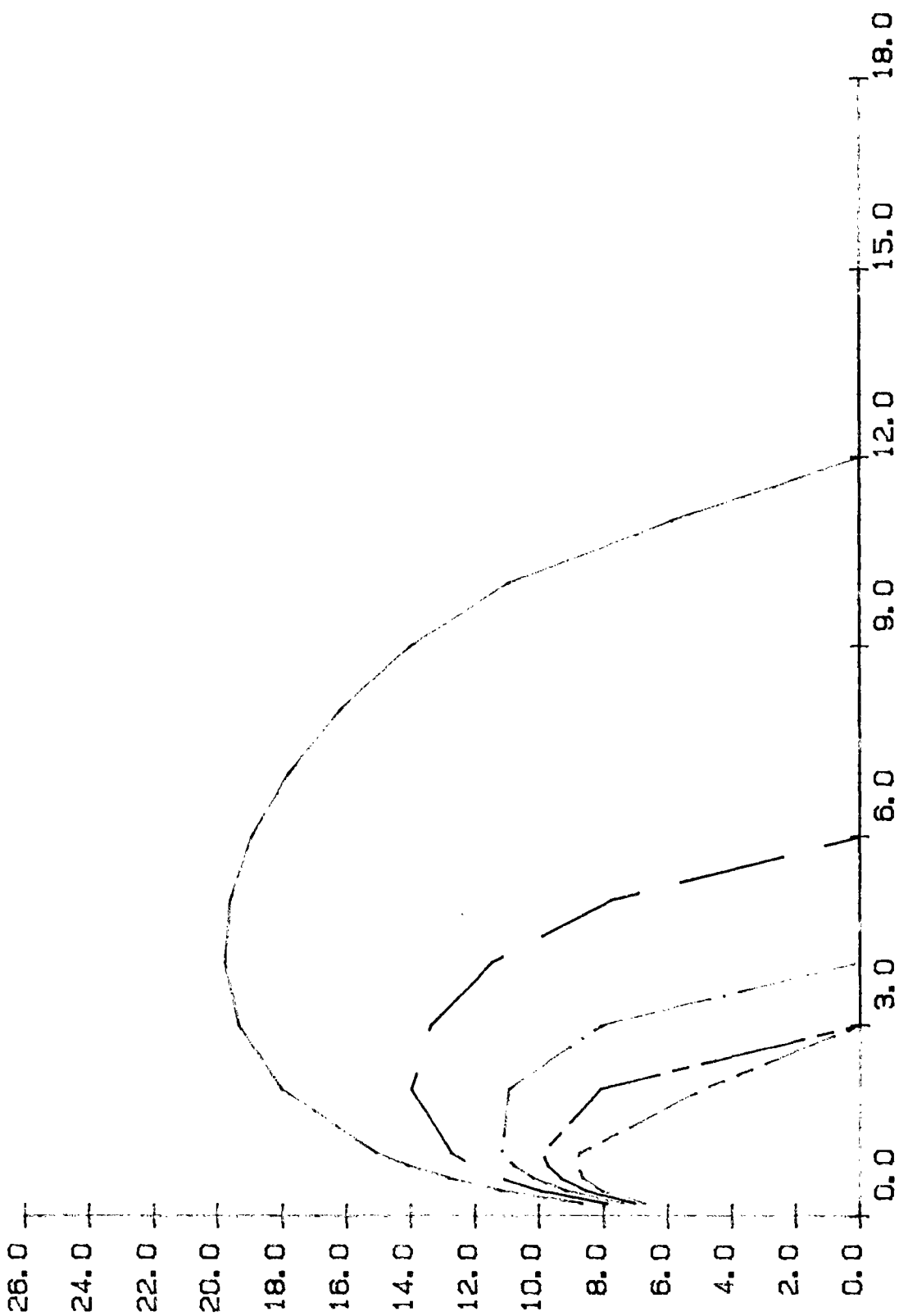


Figure 5 : QI = 4l/s, DTI = 5°C



TRACE ISOTHERME SUR 15 m

—	DT = .1	—	DT = .4
- -	DT = .2	- -	DT = .5
- . -	DT = .3		

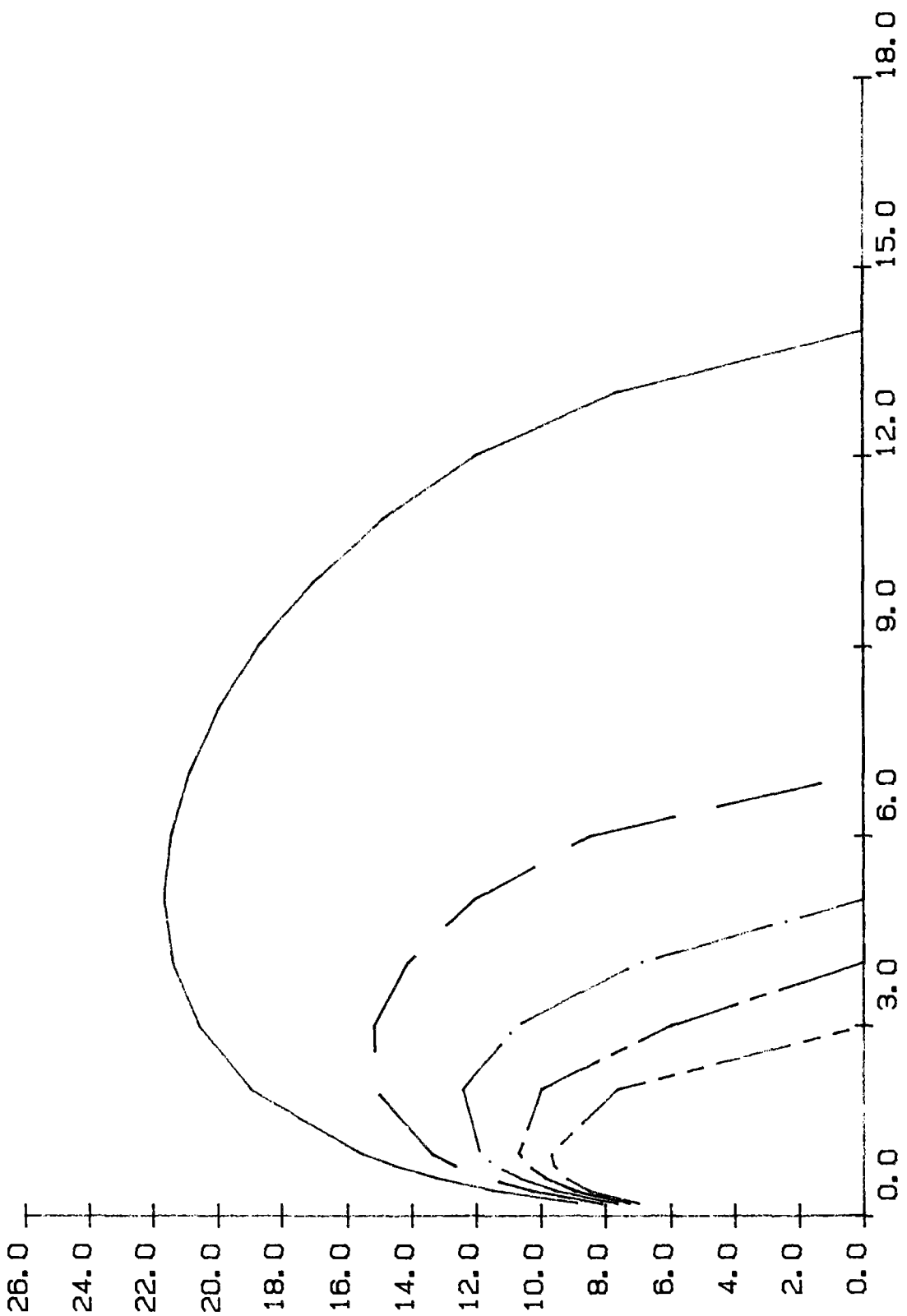


Figure 6 : QI = 31/s, DTI = 8°C

DIFFERENCE TEMPERATURE FONCTION  
DISTANCE MELANGE A DT CONSTANT

——	QI= 1.0	——	QI= 4.0
— · —	QI= 2.0	— · —	QI= 5.0
— · · —	QI= 3.0		

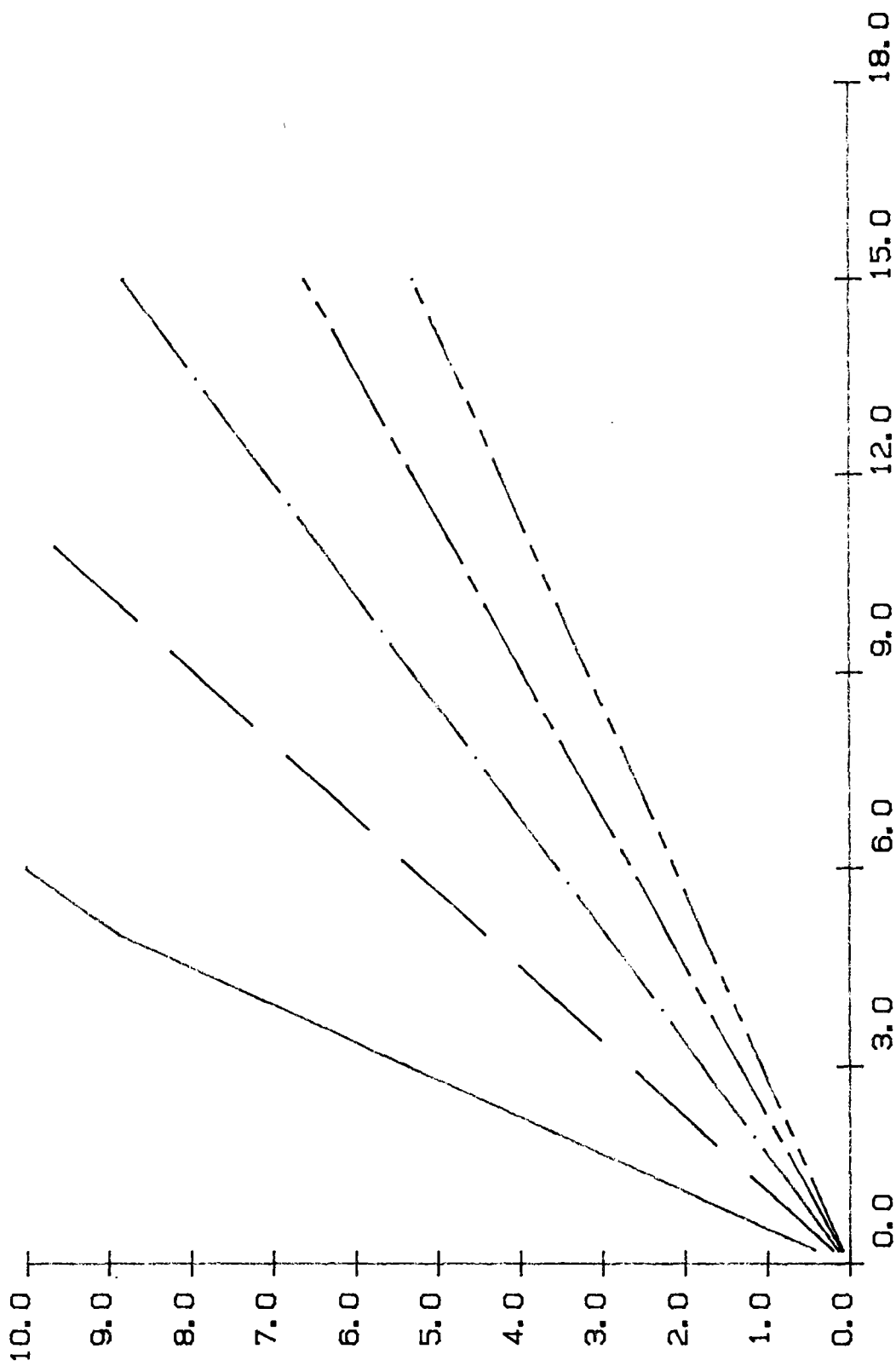


Figure 1 :  $r = 2 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,1^{\circ}\text{C}$

DIFFERENCE TEMPERATURE FONCTION  
DISTANCE MELANGE A DT CONSTANT

——	QI= 1.0	——	QI= 4.0
——	QI= 2.0	——	QI= 5.0
——	QI= 3.0		

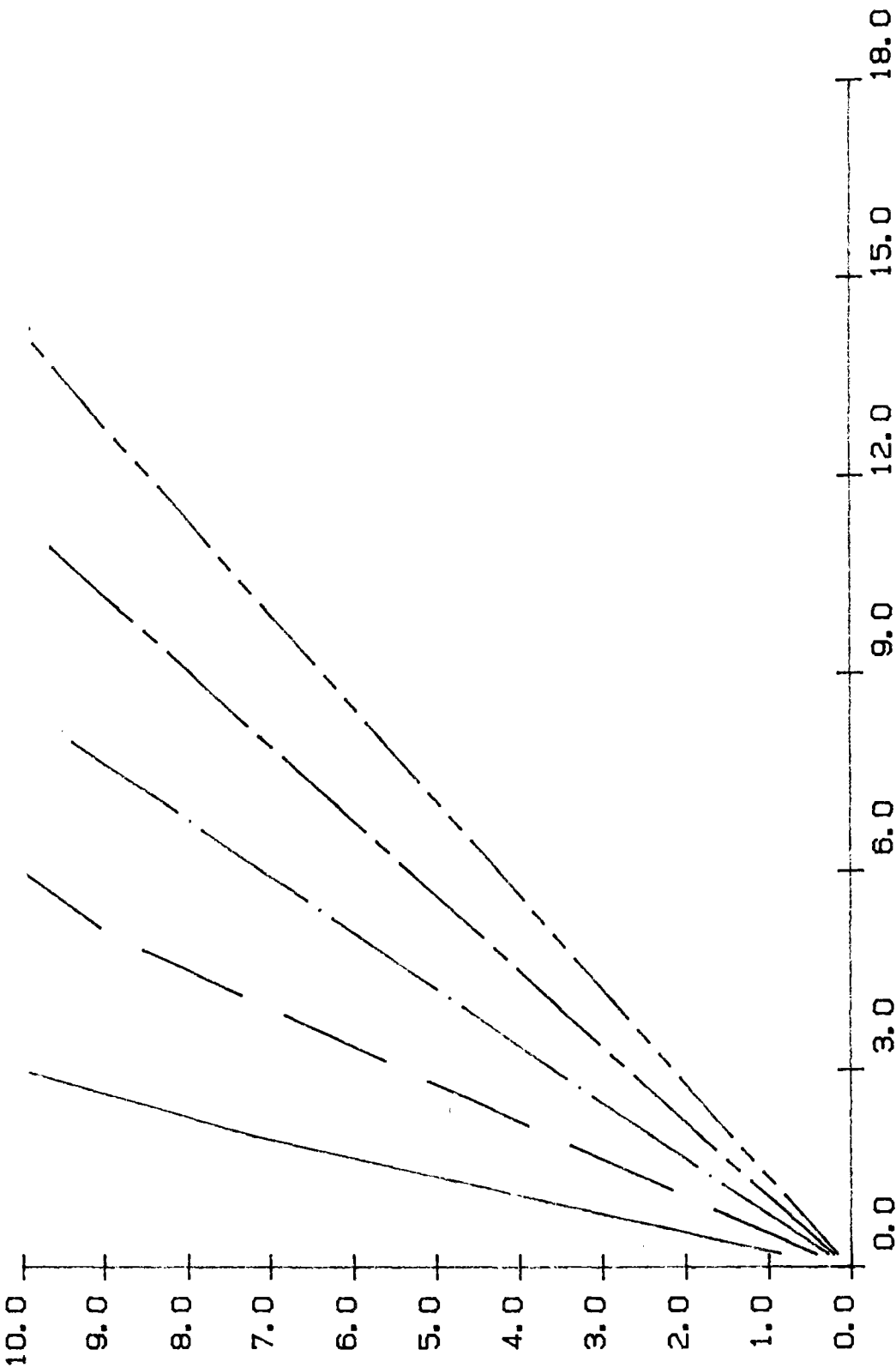


Figure 2 :  $r = 2 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,2^\circ\text{C}$

DIFFERENCE TEMPERATURE FONCTION  
DISTANCE MELANGE A DT CONSTANT

——	QI= 1.0	——	QI= 4.0
- - -	QI= 2.0	- - -	QI= 5.0
· · ·	QI= 3.0		

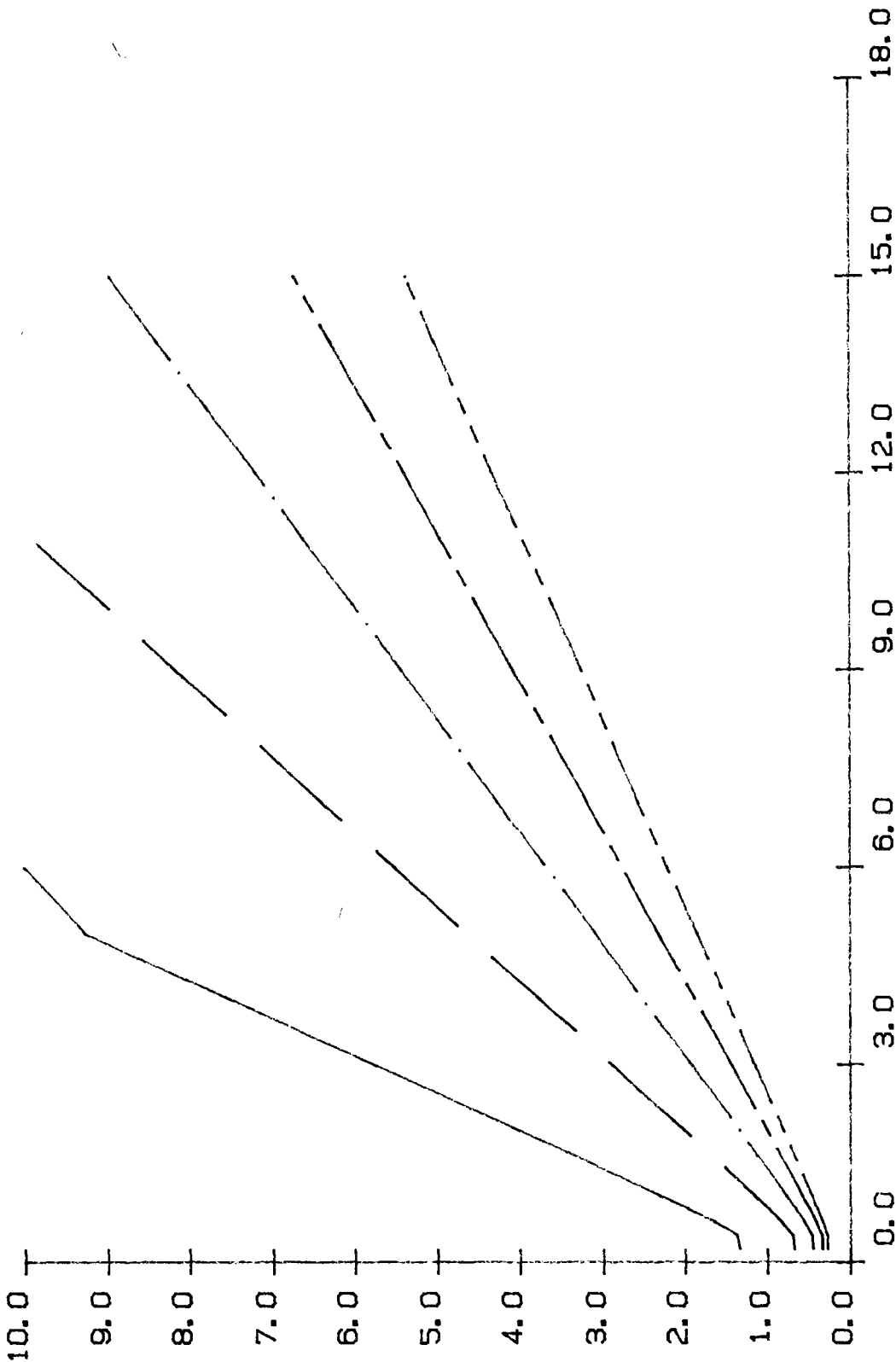


Figure 3 :  $r = 5 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,1^{\circ}\text{C}$

DIFFERENCE TEMPERATURE FONCTION  
DISTANCE MELANGE A DT CONSTANT

——	QI= 1.0	——	QI= 4.0
——	QI= 2.0	——	QI= 5.0
——	QI= 3.0		

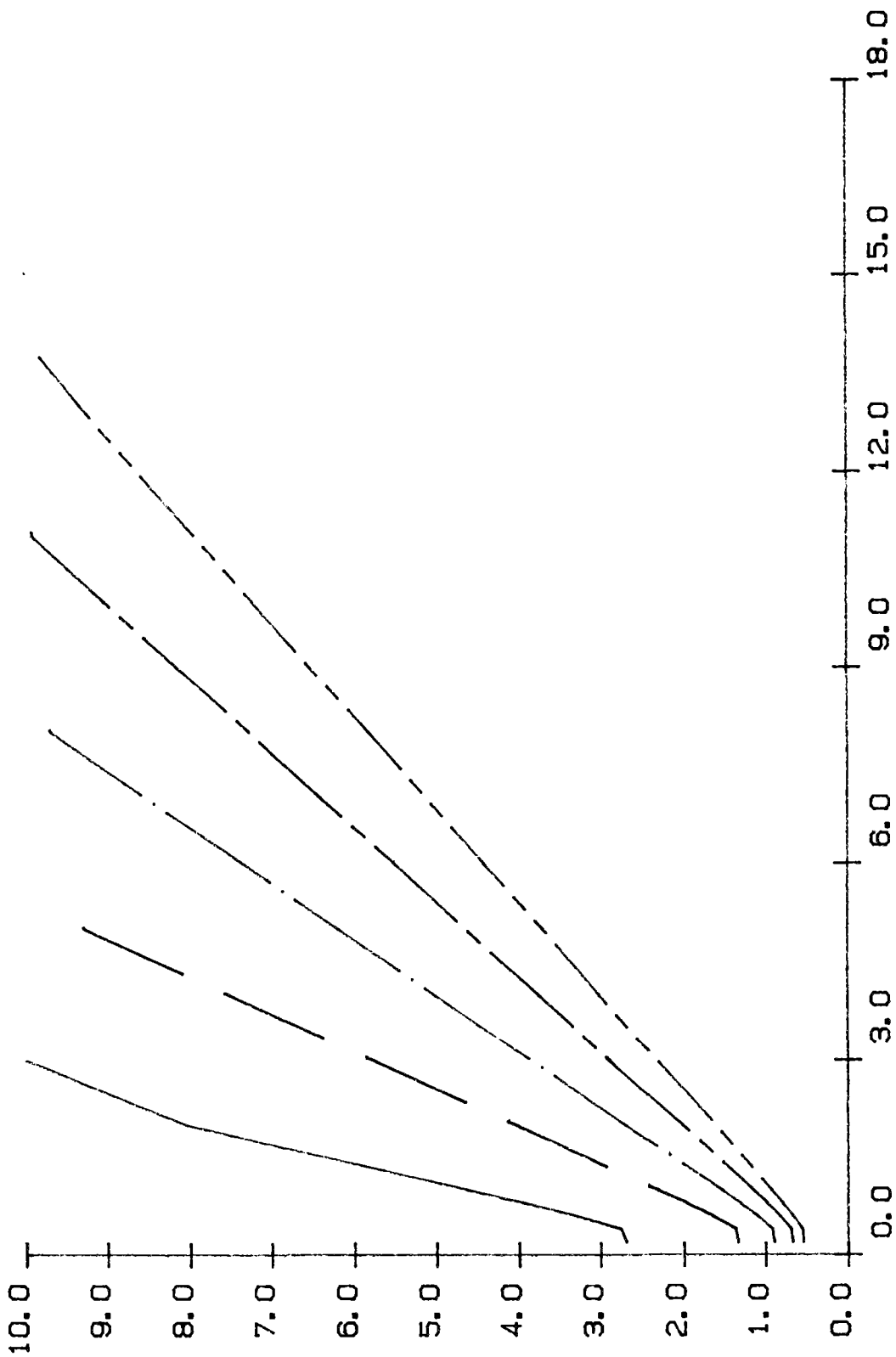


Figure 4 :  $r = 5 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,2^\circ\text{C}$

DEBIT APPORT FONCTION DISTANCE  
MELANGE A DTI CONSTANT

————	DTI= 1	————	DTI= 4
———	DTI= 2	———	DTI= 5
----	DTI= 3	----	

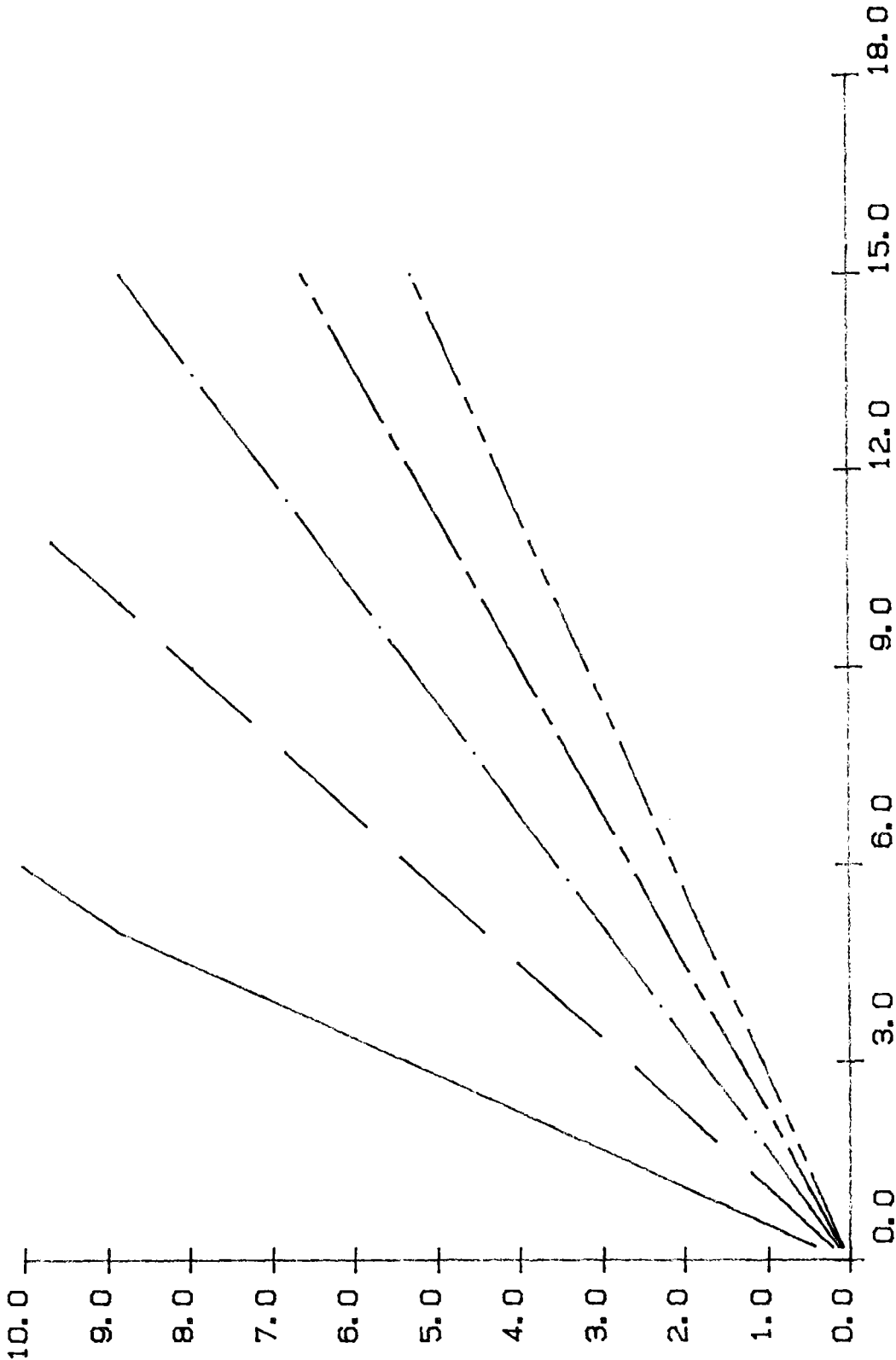


Figure 1 :  $r = 2 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,1^\circ\text{C}$

DEBIT APPORT FONCTION DISTANCE  
MELANGE A DTI CONSTANT

DTI= 1	DTI= 4
DTI= 2	DTI= 5
DTI= 3	

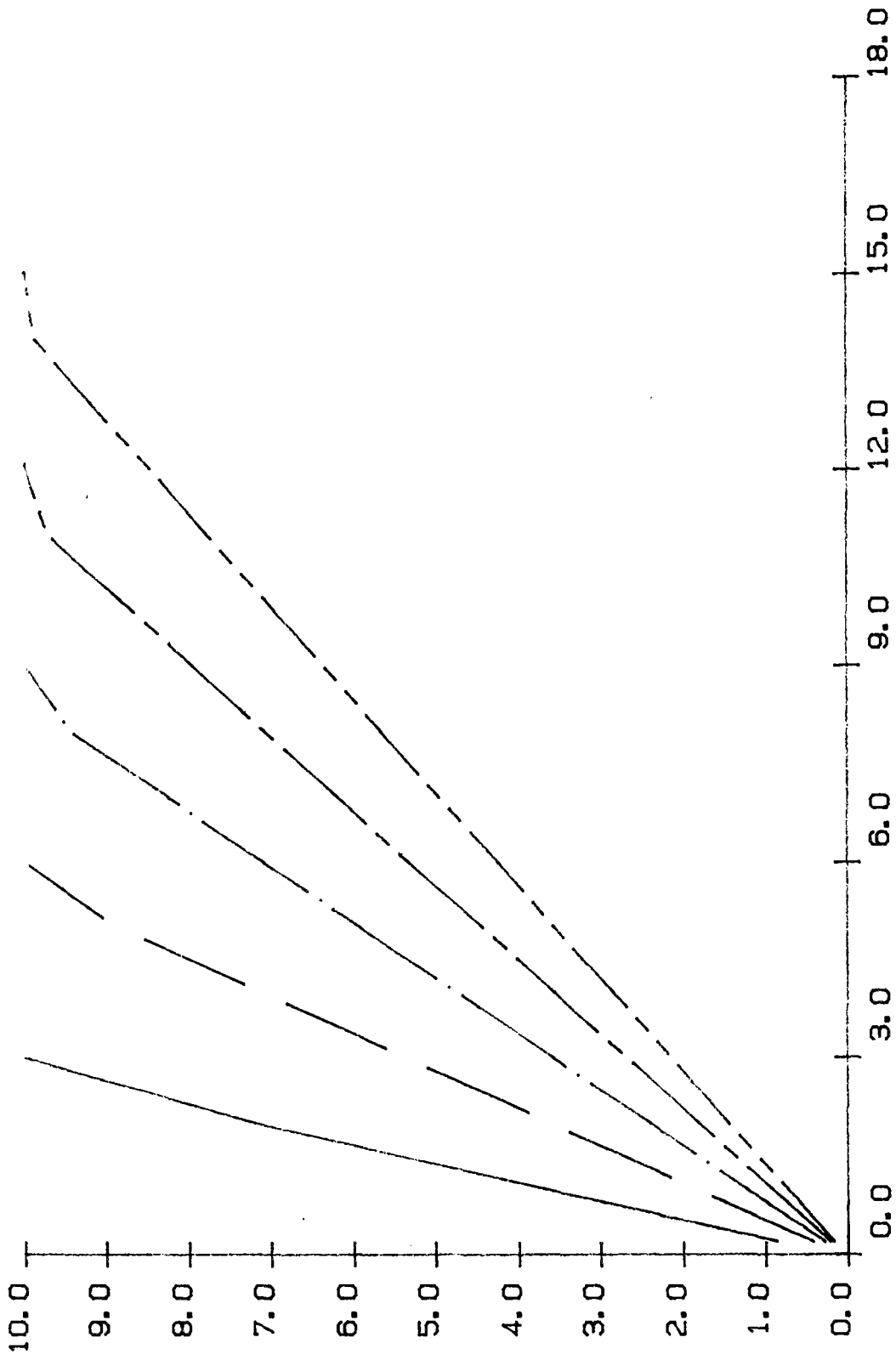


Figure 2 :  $r = 2 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,2^{\circ}\text{C}$

DEBIT APPORT FONCTION DISTANCE  
MELANGE A DTI CONSTANT

————	DTI= 1	————	DTI= 4
———	DTI= 2	———	DTI= 5
----	DTI= 3	----	

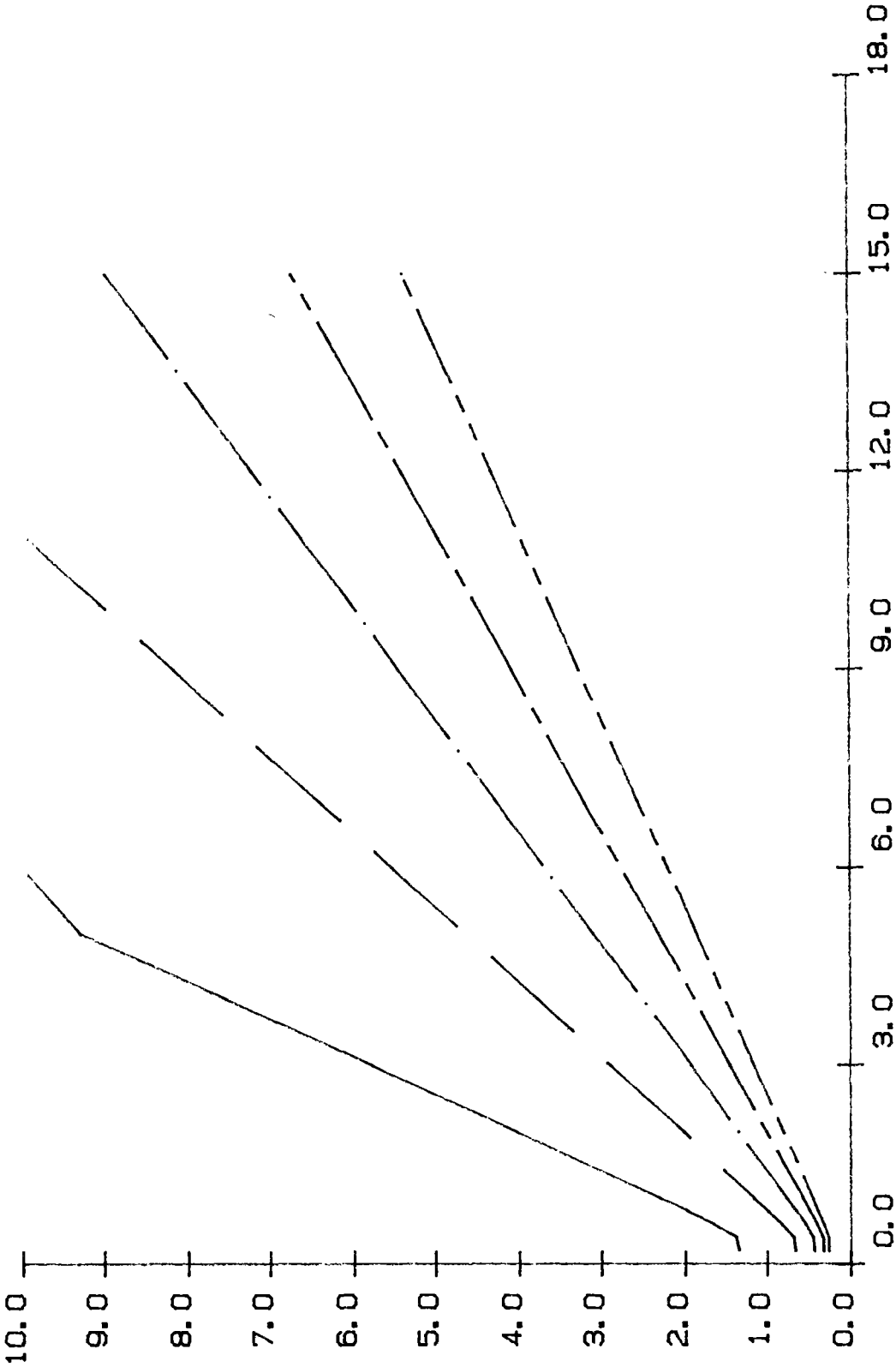


Figure 3 :  $r = 5 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,1^\circ\text{C}$



DEBIT APPORT FONCTION DISTANCE  
MELANGE A DTI CONSTANT

DTI= 1  
DTI= 2  
DTI= 3

DTI= 4  
DTI= 5

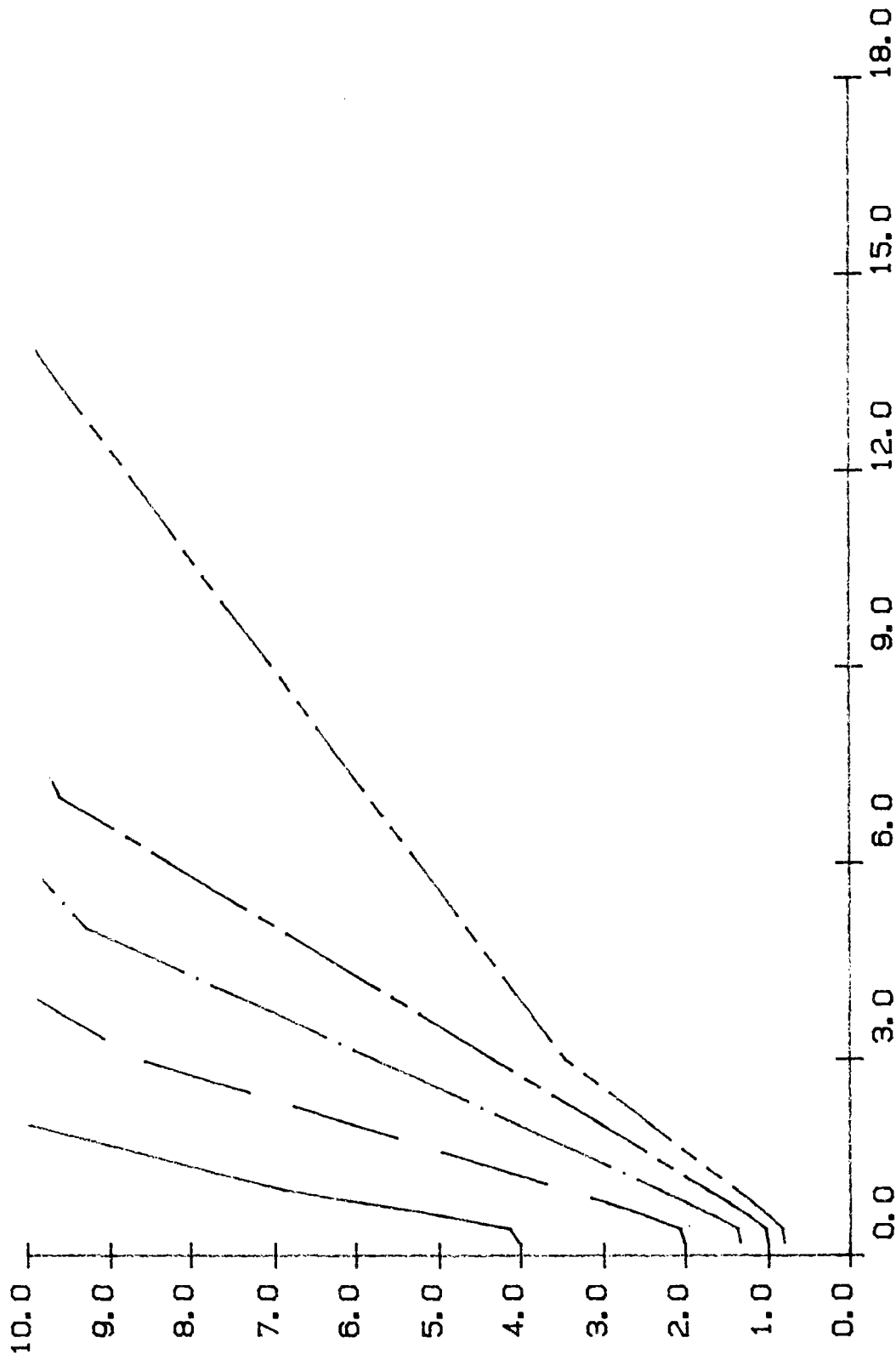


Figure 4 :  $r = 5 \text{ cm}$ ,  $DT = 0,2^\circ\text{C}$

STATION DE MESURE DE DEBIT (H,V par ultrasons) A VILLEMOISSON-s/ORGE (91)

Utilisation DE L'ICTYOTHERME A POSTE FIXE

ANNEXE IX

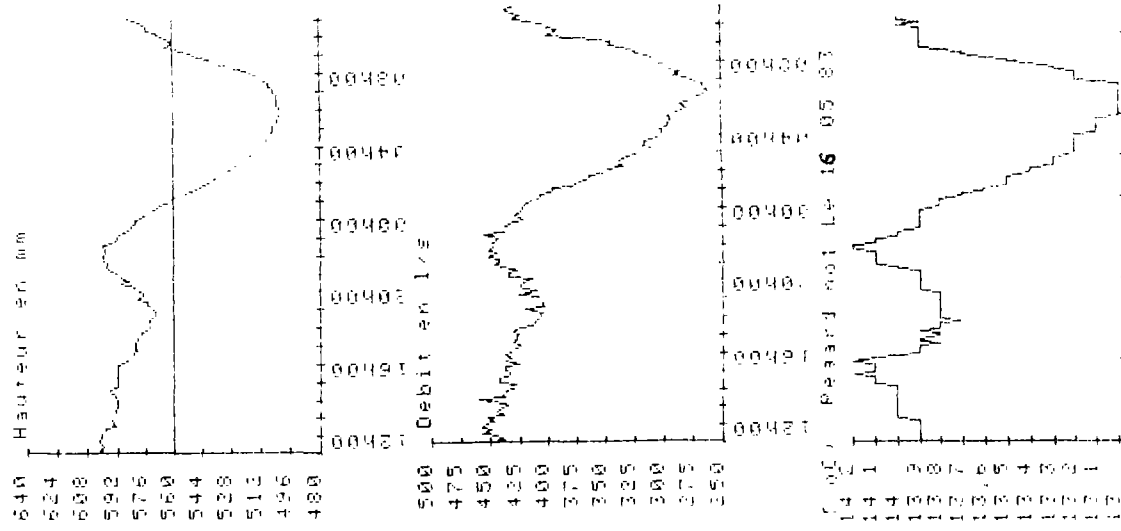


Fig.1 - Nuit du 16 au 17 mai 1983

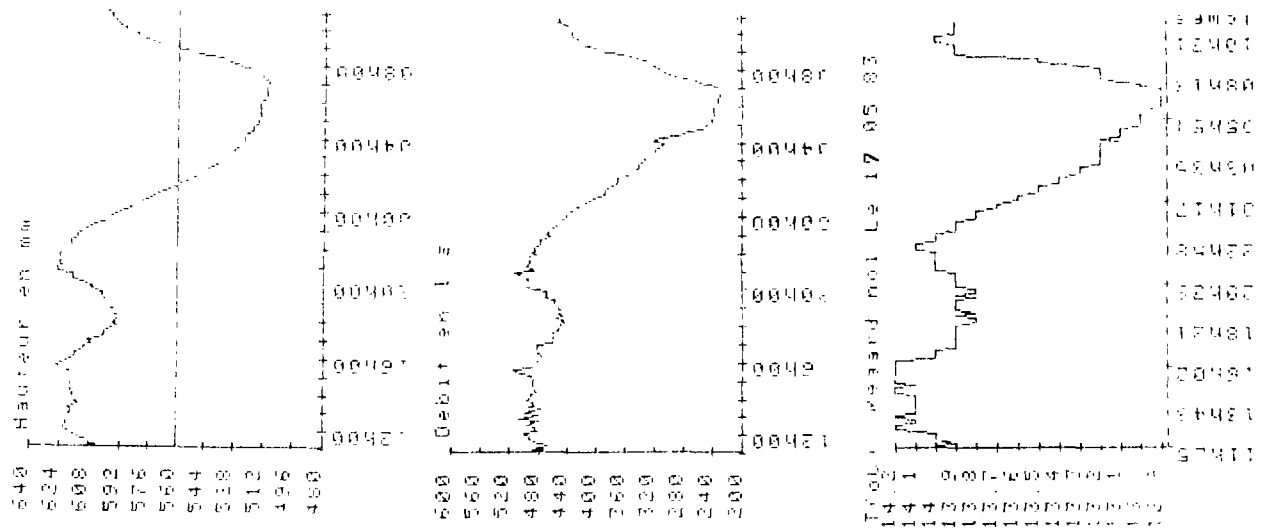


Fig.2 - Nuit du 17 au 18 mai 1983

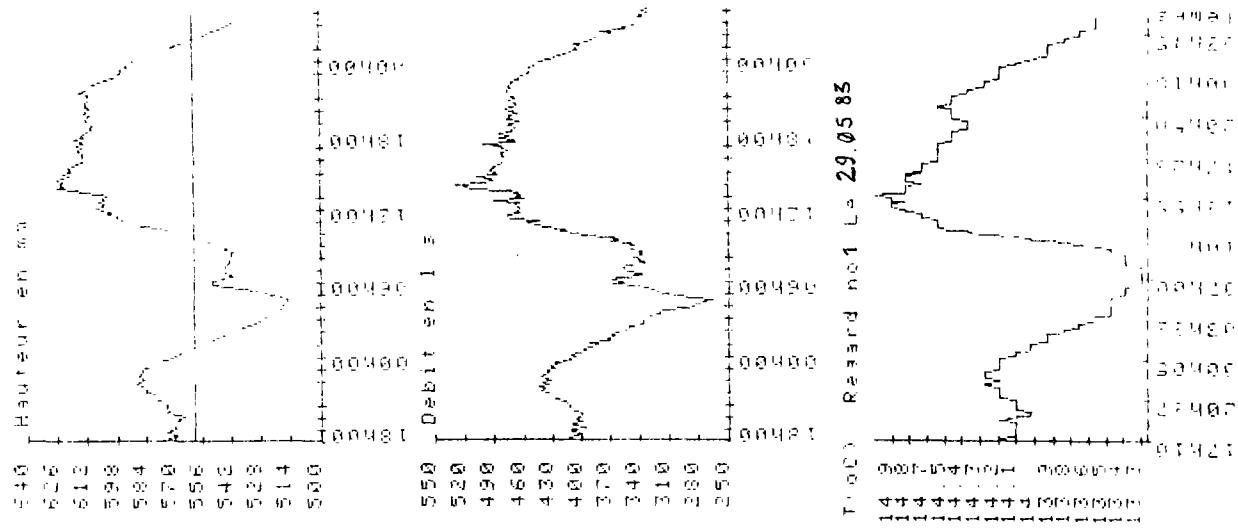


Fig.3 - Nuits du 27 au 28 et du 28 au 29 mai 1983

# Programme de commandes de l'ICHTYOTHERME

```

350 10=70 @ GOTO 410
360 GOSUB 10=90
370 DISP "GAMME 0 UTILISEE!!"
380 ON KEY# 1: "GAMESU" GOSUB 850
390 ON KEY# 4: "DESTOC" GOSUB 570
400 ON KEY# 2: "EXPLOI" GOTO 1900
410 DISP "heure de lancement de
    la mesure : en h.m.n? (ex:11h
    23=11.23)"
420 INPUT H1,H2
430 IF H1>24 OR H2>60 THEN 450 E
    LSE 470
440 GOTO 410
450 GOTO 530
460 ON INTR 4: GOSUB 1470
470 ENABLE INTR 4:48
480 RETURN
490 RESET 4 @ BEEP 100.200
500 OFF KEY# 4
510 RESET 4:3: GO A 1:ST A 1
520 ASSET 4:11: GO+RES+ST A 1
530 GOTO 530
540 ON INTR 4: GOSUB 1470
550 ENABLE INTR 4:48
560 RETURN
570 RESET 4 @ BEEP 100.200
580 OFF KEY# 4
590 ASSET 4:3: GO A 1:ST A 1
600 ASSET 4:11: GO+RES+ST A 1
610 ASSET 4:3: GO+ST+RES A 0
620 WAIT 2: delai a 2ms
630 ASSET 4:11: GO+ST+RES A 1
640 CONTROL 4:4: 192
650 OUTPUT 404 USING "#.B": 3
660 OUTPUT 404 USING "#.B": 4
    LE PORT C. CES.CEL A 0 ET
    ENLOC A 1
670 ASSET 4:11: ST A 1 ET GO
    ET RESET A 1
680 MOVE 20.100 @ LABEL "ATTENDE
    Z UN INSTANT SVP 1"
690 CONTROL 4:8: 2: PERMET SUR
    TIE SUR PORT B
700 FOR I=0 TO J1
710 OUTPUT 401 USING "#.B": 1
    ADDRESSES EN SORTIE
720 ASSET 4:10: ST A 0: RES+GO A
    1
730 WAIT 2
740 ASSET 4:11: ST P 1: RES+GO
750 ENTER 400 USING "#.B": X
760 A/I)=X
770 NEXT I
780 MOVE 20.90 @ LABEL "MERCI"
790 BEEP 100.20
800 MOVE 20.40 @ LABEL "K3 POUR
    LIRE LES TEMPERATURES"
810 RESET 4

```

```

820 ASSET 4:3
830 CONTROL 4:4: 192
840 OUTPUT 404 USING "#.B": 3
850 ON KEY# 4: "DESTOC" GOSUB 570
860 RETURN
870 RESET 4 @ BEEP 200.100
880 OFF KEY# 1
890 ASSET 4:3: GO A 0: TOUTS A 0
900 ASSET 4:6: GO ET VAL A 1
910 WAIT 1
920 ASSET 4:14: GO+RES+VAL A 1
930 WAIT 1
940 ASSET 4:6: GO+VAL A 1: RES=
    200
950 WAIT 200
960 ASSET 4:14: GO+RES+VAL A 1
970 WAIT 10
980 CONTROL 4:4: 192
990 OUTPUT 404 USING "#.B": 3
1000 OUTPUT 405 USING "#.B": G9
1010 WAIT 1
1020 ASSET 4:3: ST A 1
1030 WAIT 500
1040 ASSET 4:11: GO+RES A 1: VA
    L=0: ST A 1
1050 WAIT 500
1060 ASSET 4:15: GO+RES+VAL A
    1: ST A 1
1070 WAIT 10
1080 ASSET 4:15: GO+RES+VAL A
    1: ST A 1
1090 ON TIMER# 1:X1 GOSUB 1180
1100 J1=1
1110 MOVE 20.100 @ LABEL "LA ME
    SURE EST LANCEE"
1120 BEEP 50.500
1130 MOVE 20.80 @ LABEL "* RELIE
    Z LE COMPTE-TOUR *"
1140 OFF KEY# 1
1150 ON KEY# 1: "ICTY01" GOTO 10
1160 GOSUB 540
1170 ON KEY# 1: "LANCER" GOSUB 86
    0
1180 RETURN
1190 T:J1)=M @ (J1)=M
1200 (J1)=INT. (J1)* 0.86*10+ 5)
    /10
1210 T5=X1*J1/1000
1220 IF J1=1 THEN 1340
1230 PEN 1 @ GLEAP
1240 SCALE 0.255*0.191
1250 LDIP 0
1260 MOVE 20.180 @ LABEL "LA DIS
    TANCE EST LANCEE"
1270 MOVE 20.160 @ LABEL "K4 POUR
    R DESTOCKER LES DONNEES"
1280 MOVE 20.140
1290 LABEL "TEMPS EN SEC " @ MOV
    E 120.140
1290 DISP "DISTANCE EN m"
1300 MOVE 20.120
1310 LABEL VAL$(T5)
1320 MOVE 130.120 @ LABEL VAL$(S
    (J1))
1330 GOTO 1430
1340 P=-1
1350 PEN P @ J1=J1-1
1360 T5=J1*X1/1000
1370 MOVE 20.120 @ LABEL VAL$(T5
    (J1))
1380 MOVE 130.120 @ LABEL VAL$(S
    (J1))
1390 IF P=1 THEN 1430
1400 P=-P @ PEN P @ J1=J1+1
1410 IF S(J1)<S(J1-1) THEN S(J1)
    =S(J1-1)
1420 GOTO 1360
1430 J1=J1+1
1440 M=0
1450 IF J1=255 THEN GOSUB 2030
1460 RETURN
1470 STATUS 4:1: %
1480 STATUS 4:2: %
1490 IF BIT(3.4) THEN 1500 ELSE
    1510
1500 IF BIT(5) THEN 1480 ELSE
    1530
1510 N=N+1
1520 ENABLE INTR 4:16 @ RETURN
1530 N=M+1
1540 ENABLE INTR 4:32 @ RETURN
1550 MOVE 20.10 @ LABEL "ATTENDE
    Z UN INSTANT SVP 1"
1560 FOR I=0 TO J1
1570 Z=A(I)
1580 K=2*2.49*4/256
1590 Z1=X1*Z+T0
1600 B(I)=FNC(Z1)
1610 NEXT I
1620 DEF FNC(Z2) = INT(22*10+ S)
    /10
1630 CLEAR @ DISP "VOUS VOULEZ L
    IRE LES TOC"
1640 INPUT R#
1650 IF R#="OUI" THEN GOSUB 1950
    ELSE 1670
1660 GOTO 1690
1670 IF R#="NON" THEN 1690 ELSE
    1680
1680 DISP "ET ALORS?" @ GOTO 164
    0
1690 DISP @ DISP "VOUS VOULEZ
    STOCKER DAHS UN FICHIER O
    E DONNEES?"
1700 INPUT S#
1710 IF S#="OUI" THEN 1730
1720 IF S#="NON" THEN 1860 ELSE
    1700
1730 DISP "Le fichier est cree"

```

Suite page suivante

# Suite "ICTYO 1"

```

1700 INPUT B$
1710 IF B$="OUI" THEN R1=0 @ GOTO 1720
1720 CLEAR @ DISP "ATTENDEZ UN 14"
1730 IF B$="NON" THEN 1760 ELSE
1740
1750 R1=1 @ CRT
1760 DISP @ DISP "CHOISISSEZ NOM"
1770 FICHER A CREER" @ PAUSE
1780 CLEAR @ DISP "NOM DU FICHIER"
1790 R2=DE 6 lettres"
1800 INPUT V$
1810 IF LEN(V$)>6 THEN 1790
1820 IF R1=0 THEN 1820
1830 CREATE V$3,2100
1840 CLEAR @ DISP "APPUYER SUP 1"
1850 a touche # CONT # POUR ENR
1860 EGISTRER LES DONNEES" @ PAU
1870 SE
1880 ASSIGN# 1 TO V$
1890 PRINT# 1 : B$(S(1)),J1,X
1900 1.M$,H1,H2,V$
1910 ASSIGN# 1 TO #
1920 DISP @ DISP "VOUS
1930 EXPLOITER LES
1940
1950 INPUT I$
1960 IF I$="OUI" THEN 1900
1970 IF I$="NON" THEN 1920 ELSE
1980
1990 IF R=0 THEN CLEAR @ CHAIN "
2000 TGRAFI"
2010 IF R=1 THEN CLEAR @ CHAIN "
2020 TGRAFI2"
2030 CLEAR @ DISP "Appuyer sur K
2040 EY LABEL pour la suite"
2050 DISP @ DISP "Appuyer sur la
2060 touche en face du nom"
2070 RETURN
2080 CLEAR @ FOR I4=1 TO J1-2 ST
2090 EP 13
2100 FOR I5=14 TO I4+12
2110 IF I5>J1-2 THEN 2020
2120 DISP I5;TAB(12);S(15);TAB(2
2130 0);B(15)
2140 NEXT I5
2150 PAUSE
2160 NEXT I4
2170 RETURN
2180 CLEAR @ DISP "LA CAPACITE D
2190 E STOCKAGE DU POISSON EST D
2200 EPASSEE(256 VALEURS ENREGIS
2210 TREES)"
2220 OFF TIMER# 1 @ OFF INTR 4
2230 DISP @ DISP "R4 POUR DESTOC
2240 LAGE DES DONNEES"
2250 RETURN

```

# Programme traçage "température-temps"

```

100 REM TGRAFE - TEMPERATURE -
110 TEMPS#
120 CLEAR @ DISP "ATTENDEZ UN 14"
130 START SUP 14
140 COM B(256) S(256) T(256) IN
150 TIGER J1,N1,H1,H2,M$[300]
160 DIM P1$[2],P2$[2],I$[5],U$[2]
170 J1=C[3],A1[2],M$[12]
180 INTEGER R1,K3,F4,J3,J4 12,P
190 1,6,2,0,0,0
200 I3=0 @ J3=0 @ T3=0 @ U=0
210 DISP @ DISP "Nom de la Rue"
220 INPUT U$
230 DISP "Pue" a "%$% a "%$%
240 DISP @ DISP "No. resard(100)
250 DATE(ex07.01.83)"
260 INPUT D,R#
270 DISP "Resard No":D;"Insecte
280 a la sonde de ToC (dite ICH
290 TIO-THERME ) le "%$%
300 DISP "Temps sec.pluvieux",ora
310 900,ensoleille"
320 INPUT M$@ DISP "Temps "%$%
330 ON KEY# 1,"GRAPHIE" GOSUB 280
340 ON KEY# 2,"ICTYO1" GOTO 1140
350 ON KEY# 3,"FICHO1" GOTO 1130
360 ON KEY# 4,"Autos1" GOTO 1150
370 ON KEY# 5,"TGRAFI" GOTO 1160
380 CLEAR
390 DISP @ DISP "REGAPO INSPECTE
400 LE"%$% a "%VAL$(H1)*8,"SVA
410 L4,H2)
420 DISP @ DISP " Appuyer sur
430 KEY LABEL pour la suite du
440 traitement"
450 DISP @ DISP " Appuyer sur
460 la touche en face du nom"
470 J1=J1-1
480 DISP @ DISP "FICHO1 = lecture
490 e donneez"
500 DISP "GRAPHIE = tracer grapht
510 aue"
520 DISP "ICTYO1 = lancement m
530 ure"
540 GOTO 270
550 CLEAR
560 DISP "TEMPERATURE-TEMPS"
570 A1=0 @ A2=100
580 A1=0 @ A2=100
590 FOR V=1 TO J1-1
600 F0=MAX(A1,B(1))
610 F1=MIN(A2,B(1))
620 A1=F0
630 A2=F1
640 NEXT K
650 F2=0
660 IF F2=0 THEN U=85 @ D2=1 @ F
670 2=01 @ GOTO 560
680 IF F2=1 THEN D2=1 @ GOTO 56
690
700 IF F2=2 THEN D2=2 @ GOTO 56
710
720 IF F2=3 THEN D2=3 @ GOTO 56
730
740 IF F2=4 THEN D2=4 @ GOTO 56
750
760 IF F2=5 THEN D2=5 @ GOTO 56
770
780 IF F2=6 THEN D2=6 @ GOTO 56
790
800 IF F2=7 THEN D2=7 @ GOTO 56
810
820 IF F2=8 THEN D2=8 @ GOTO 56
830
840 IF F2=9 THEN D2=9 @ GOTO 56
850
860 IF F2=1 THEN D2=10 @ GOTO 56
870
880 IF F2=1.1 THEN D2=11 @ GOTO
890
900 IF F2=1.2 THEN D2=12 @ GOTO
910
920 IF F2=1.3 THEN D2=13 @ GOTO
930
940 IF F2=1.4 THEN D2=14 @ GOTO
950
960 IF F2=1.4 THEN D2=10 @ GOTO
970
980 CLEAR
990 SCALE 0,255,0,101
1000 XAXIS 40,20,42,250
1010 YAXIS 42,130,02,45,175
1020 LDIR 90
1030 FOR L1=42 TO 250 STEP 20
1040 L4=(L1-42)*J1-1)*X1/200000
1050 R4=0 @ I5=3600*X1+50*H2
1060 P4=L4+I5
1070 R4=R4 MOD 36000
1080 R1=R4 DIV 3600
1090 R2=R1 DIV 60 @ R3=VAL$(R2)
1100 R3=R1 MOD 60 @ R3=VAL$(R3)
1110 IF R0<10 THEN P0$="0" @ VAL$(R
1120 0, ELSE P0$=VAL$(R0)
1130 IF R2<10 THEN P2$="0" @ R2$
1140 I3=EP0$@H"R2$
1150 MOVE L1,1
1160 LABEL L1#
1170 NEXT L1
1180 LDIR 90
1190 MOVE 254,1
1200 LABEL "Temps"
1210 LDIR 0
1220 IF F2=1.1 THEN U1=2 ELSE U1=
1230 1
1240 FOR L2=45 TO 175 STEP 130/02
1250 MOVE 2,L2
1260 L3=INT(F2/130*(L2-45)*10+.5)
1270 /10+1
1280 LABEL VAL$(L3)

```



## "Gestion de l'OTOTHERME"

## Fichier de données

[illegible]

# ANNEXE XI

## Programme de simulation des Isothermes écrit en FORTRAN sur VAX 11/750

```

DIMENSION A(100,100,0),R(100),Y(20)
LOGICAL*1 I1,I2
OPEN(UNIT 1,FILE='DONNE.DAT',STATUS='OLD')
OPEN(UNIT 2,FILE='DEBQQ.DAT',STATUS='OLD')
10 FORMAT(10.4,F4.2,F4.2)
11 FORMAT(11)
12 FORMAT(F4.2)
13 FORMAT(F5.1)
14 FORMAT(10.4,1H)
15 FORMAT(11)
16 FORMAT(11)
17 READ(1,10)A(1,1,0)
18 READ(1,11)K1,I1
19 IF(K1*TYPE.EQ.1.OR.K1*TYPE.EQ.2) GO TO 100
20 IF(K1*TYPE.EQ.3) GO TO 400
100 READ(1,11)I2
21 CALL INIT
22 CALL WINDOW(0,0,2700,4095,3071)
23 CALL WINDOW(0,0,36,3)
24 IF(K1*TYPE.EQ.2) GO TO 120
25 CALL EPOCH(0,1,2,3,6,24, 'TRACE ISOOTHERME SUR 15 m')
26 CALL PENC(1)
27 CALL SEGMENT(0,0,23,2,2,0)
28 CALL ECRUX(0,24,2,2,3,2,8, 'DT = .1')
29 CALL PENC(1)
30 CALL SEGMENT(0,0,23,1,4,5)
31 CALL ECRUX(0,24,1,4,3,2,8, 'DT = .2')
32 CALL PENC(1)
33 CALL SEGMENT(0,0,23,0,5,6)
34 CALL ECRUX(0,24,0,5,3,2,8, 'DT = .3')
35 CALL PENC(1)
36 CALL SEGMENT(0,0,31,2,2,7)
37 CALL ECRUX(0,32,2,2,3,2,8, 'DT = .4')
38 CALL PENC(1)
39 CALL SEGMENT(0,0,31,1,4,8)
40 CALL ECRUX(0,32,1,4,3,2,8, 'DT = .5')
41 GO TO 110
130 CALL WINDOW(0,0,4095,2700)
42 CALL WINDOW(0,0,4,20,28)
43 CALL AXES(0,0,0,10,0,3,5,0,-1,5,4,1)
44 CALL AXES(0,0,0,26,0,2,0,35,-1,5,0,3,4,1)
45 DO 200 K=1,10
46 IF(K.EQ.1) THEN
47 L=0
48 ELSE
49 L=K+3
50 ENDIF
51 VAR=K/10.
52 DO 250 J=1,20
53 X(J)=J*0.
54 R=Q1*DT14.001+1.43*1440*X(J)*VAR
55 IF (R.LE.1.0) THEN
56 R=1.
57 ENDIF
58 F=LOG(R)
59 Y(J)=4.41*X(J)*F
60 Y(J)=(Y(J)*F+4.5)*100
250 CONTINUE
61 DO 260 JJ=1,10
62 IF(JJ.LE.5) THEN
63 XX(JJ)=X(JJ)
64 YY(JJ)=Y(JJ)
65 IF(K1*TYPE.EQ.2) THEN
66 F=50.
67 ELSE
68 F=50.
69 ENDIF
70 IF(YY(JJ).GT.F) THEN
71 YY(JJ)=F
72 ENDIF
73 ELSE
74 J=5*JJ-20
75 XX(JJ)=X(J)
76 YY(JJ)=Y(J)
77 IF(YY(JJ).GT.F) THEN
78 YY(JJ)=F
79 ENDIF

```

```

      GO TO 100 X(100)=X(200)+.0001 X(100)=X(200)
      GO TO 100 Y(100)=Y(200)+.0001 Y(100)=Y(200)
      GO TO 100 Z(100)=Z(200)+.0001 Z(100)=Z(200)
      GO TO 100 W(100)=W(200)+.0001 W(100)=W(200)
      GO TO 100 V(100)=V(200)+.0001 V(100)=V(200)
      GO TO 100 U(100)=U(200)+.0001 U(100)=U(200)
      GO TO 100 T(100)=T(200)+.0001 T(100)=T(200)
      GO TO 100 S(100)=S(200)+.0001 S(100)=S(200)
      GO TO 100 R(100)=R(200)+.0001 R(100)=R(200)
      GO TO 100 Q(100)=Q(200)+.0001 Q(100)=Q(200)
      GO TO 100 P(100)=P(200)+.0001 P(100)=P(200)
      GO TO 100 O(100)=O(200)+.0001 O(100)=O(200)
      GO TO 100 N(100)=N(200)+.0001 N(100)=N(200)
      GO TO 100 M(100)=M(200)+.0001 M(100)=M(200)
      GO TO 100 L(100)=L(200)+.0001 L(100)=L(200)
      GO TO 100 K(100)=K(200)+.0001 K(100)=K(200)
      GO TO 100 J(100)=J(200)+.0001 J(100)=J(200)
      GO TO 100 I(100)=I(200)+.0001 I(100)=I(200)
      GO TO 100 H(100)=H(200)+.0001 H(100)=H(200)
      GO TO 100 G(100)=G(200)+.0001 G(100)=G(200)
      GO TO 100 F(100)=F(200)+.0001 F(100)=F(200)
      GO TO 100 E(100)=E(200)+.0001 E(100)=E(200)
      GO TO 100 D(100)=D(200)+.0001 D(100)=D(200)
      GO TO 100 C(100)=C(200)+.0001 C(100)=C(200)
      GO TO 100 B(100)=B(200)+.0001 B(100)=B(200)
      GO TO 100 A(100)=A(200)+.0001 A(100)=A(200)
      GO TO 100

```

ANNEXE XII

Programme simulations

```

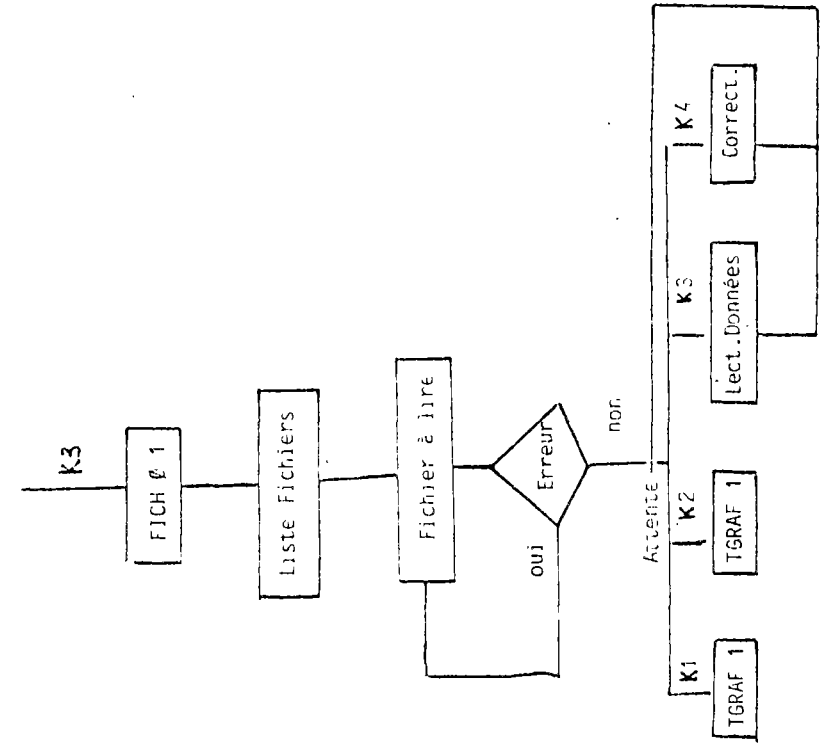
10 FORMAT(10I7.3)
15 ((K/2)*2, EQ, K) THEN
CALL FEN(1)
1700
CALL FEN(1)
1800
CALL COURVA(19, XX, YY, L)
200 CONTINUE
CALL FIN
GO TO 200
400 READ(J, 14) DIST
CALL INIT
CALL WINDEA(0, 2700, 4095, 3071)
CALL WINDVA(0, 0, 36, 3)
CALL ECRTXV(0, 1, 2, 3, 2, 8, 'TEMPERATURE MELANGE FONCTION')
CALL ECRTXV(0, 1, 1, 3, 2, 8, 'TEMPERATURE REJET')
CALL FEN(1)
CALL SEGMDA(20, 2, 2, 23, 2, 2, 0)
CALL ECRTXV(0, 24, 2, 2, 3, 2, 8, 'RI= 0.5 ')
CALL FEN(2)
CALL SEGMDA(20, 1, 4, 23, 1, 4, 5)
CALL ECRTXV(0, 24, 1, 4, 3, 2, 8, 'RI= 1.0 ')
CALL FEN(1)
CALL SEGMDA(20, 0, 5, 23, 0, 5, 6)
CALL ECRTXV(0, 24, 0, 5, 3, 2, 8, 'RI= 1.5 ')
CALL FEN(2)
CALL SEGMDA(28, 2, 2, 31, 2, 2, 7)
CALL ECRTXV(0, 32, 2, 2, 3, 2, 8, 'RI= 2.0 ')
CALL SCALOFF
CALL WINDEA(0, 0, 4095, 2700)
CALL WINDVA(-2, -2, 11, 1)
CALL AXES(0, 0, 0, 10, 0, 1, 0, 0, 15, 0, -0, 1, 3, 4, 1)
CALL AXES(1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, -1, 0, 3, 4, 1)
DO 800 J=1,5
IF (K, EQ, 1) THEN
L=0
ELSE
L=K+3
ENDIF
VAR=0.5*K*1000./
DO 850 J=1,20
X(J)=J*0.5
F=FEN((K*2, #U)/(4.*D*DIST))
Y(J)=X(J)*VAR*E/(4.*3.14*D*DIST)
800 CONTINUE
IF (L, EQ, 2, EQ, K) THEN
CALL FEN(1)
ELSE
CALL FEN(1)
ENDIF
CALL COURVA(20, X, Y, L)
850 CONTINUE
CALL FIN
900 STOP
END

```



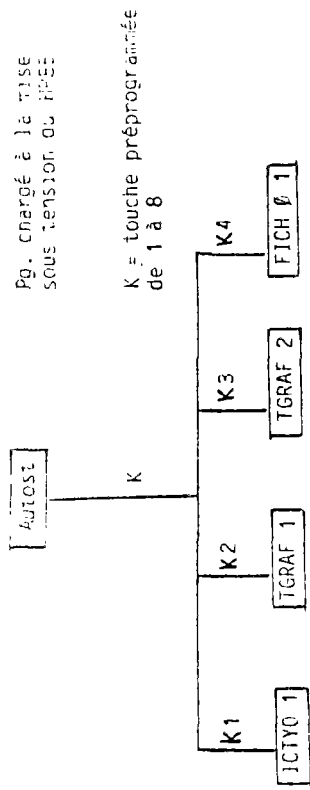
Organigramme de "FICHØ1"

Appel de "FICHØ1" par la touche K3



Pl.2 - Organigramme de "FICHØ1"

DÉFINITION DES PROGRAMMES



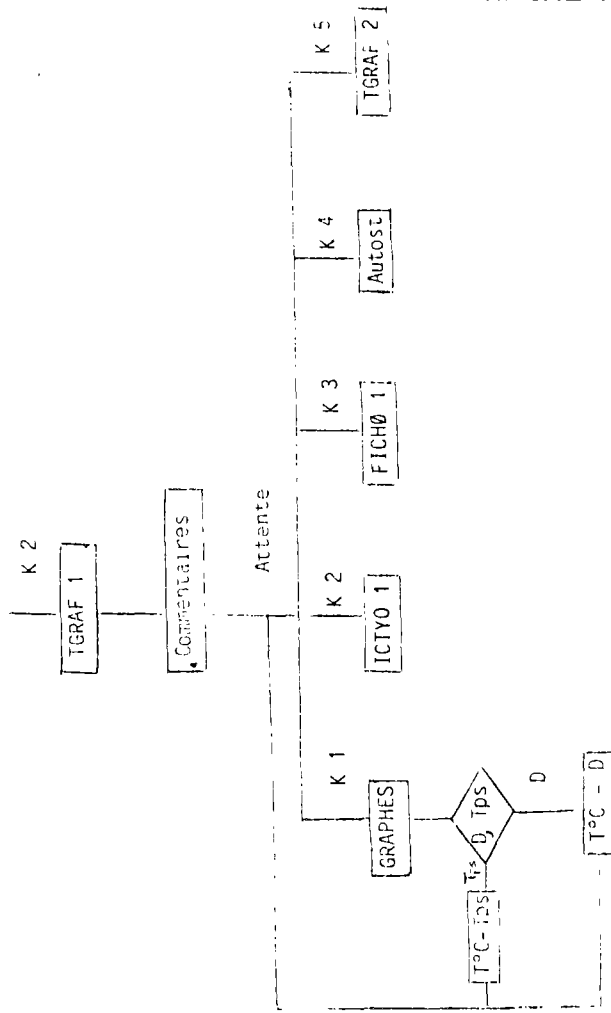
ICTYO 1 = Pg. de commandes de l'ICTYO-THERME  
TGRAf 1 = Pg. de tracé de graphiques de la température en fonction  
de la distance et du temps  
TGRAf 2 = Pg. de tracé du graphique température-temps  
FICHØ 1 = Pg. de lecture de fichiers de données.

Remarque

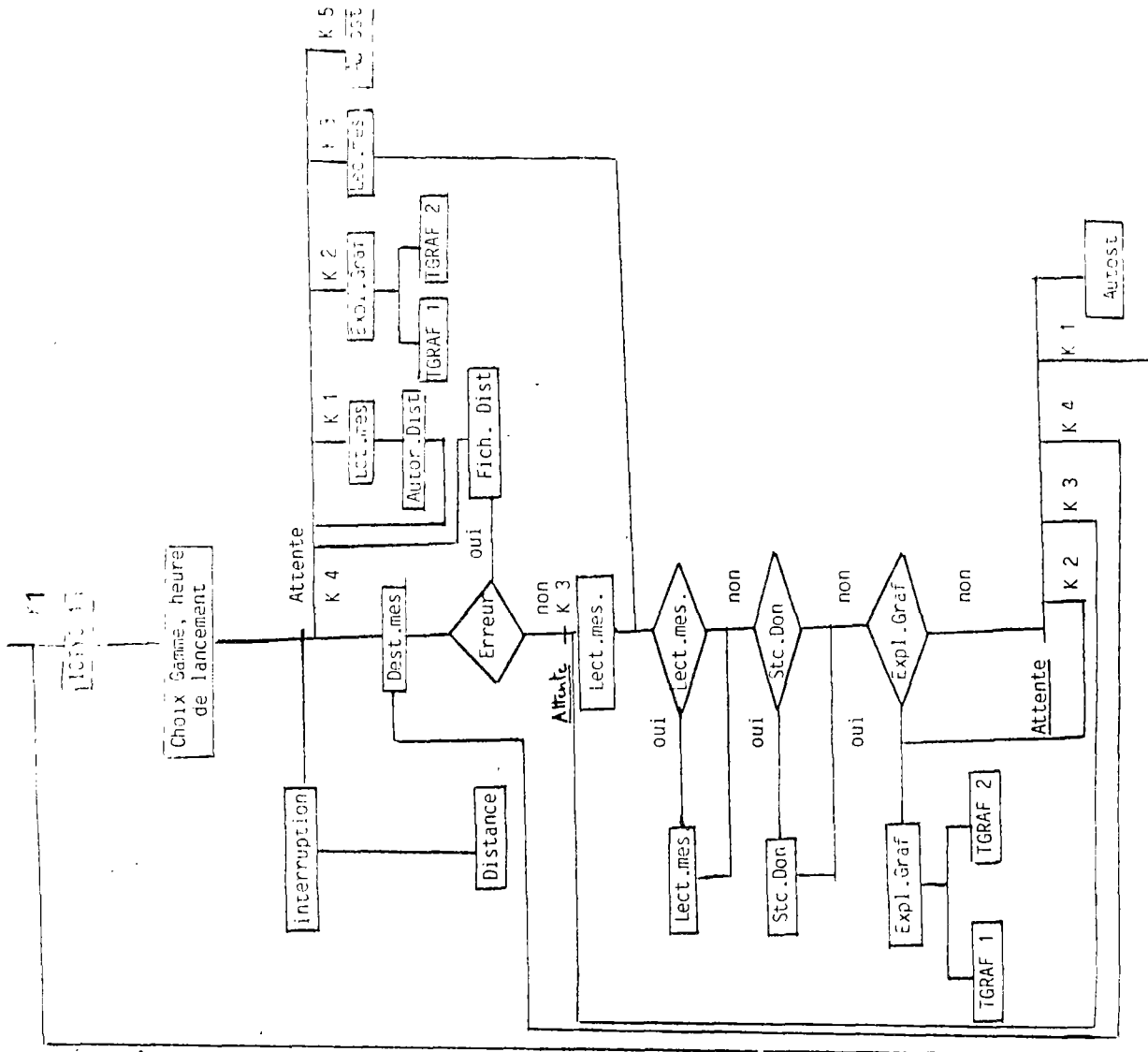
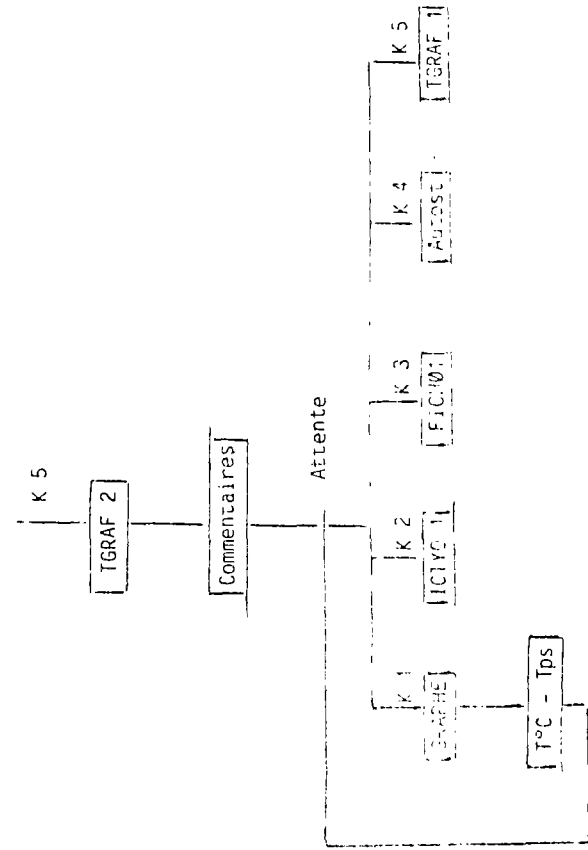
Les programmes TGRAf 1 et TGRAf 2 ne peuvent pas être  
utilisés directement avant d'avoir chargé un fichier ou procédé  
à une campagne de mesure.  
Seuls ICTYO 1 et FICH Ø 1 sont directement utilisables.

Pl.1 - Définition des programmes

Pl. 2 - Gestion des graphes lors des inspections de réseaux



Pl. 3 - Gestion du graphique d'une inspection à poste fixe



Pl. 1 - Organigramme de ICTYO1